



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

**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**

**Marco Raul Fernández Chum**

Asesorado por el Ing. Christian Guillermo Arango Mazariegos

Guatemala, marzo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARCO RAUL FERNÁNDEZ CHUM**

ASESORADO POR EL ING. CHRISTIAN GUILLERMO ARANGO MAZARIEGOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, MARZO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muños
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Erick René Guerra Silva
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

## 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:

**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**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 4 de agosto del 2006.



**Marco Raul Fernández Chum**

Guatemala, 04 de enero de 2013.

Ingeniero  
Julio César Campos Paiz,  
Director de escuela de Ingeniería Mecánica,  
Universidad de San Carlos de Guatemala,  
Facultad de Ingeniería.

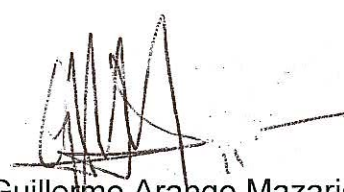
Ing. Campos:

Por este medio, me complace informarle que el estudiante Marco Raul Fernández Chum ha finalizado su trabajo de graduación titulado "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".

Después de un proceso de revisión, me permito manifestar mi aprobación al contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, agradezco su amable atención y me suscribo de usted.

Respetuosamente,



Ing. Christian Guillermo Arango Mazariegos  
Colegiado activo 6800  
Asesor

CHRISTIAN GUILLERMO ARANGO MAZARIEGOS  
INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL  
No. DE COLEGIADO 6,800

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado 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, del estudiante Marco Raul Fernández Chum, recomienda su aprobación.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**



**Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador de Área**

Guatemala, enero de 2013 .

/behdei.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria al Trabajo de Graduación titulado 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, del estudiante Marco Raul Fernández Chum, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julio'.

Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**



Guatemala, marzo de 2013

JCCP/behdei



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: **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**, presentado por el estudiante universitario: **Marco Raúl Fernández Chum**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Récinos  
Decano

Guatemala, marzo de 2013



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida, ser mi guía y levantarme de las muchas caídas.
- Mis padres** Marco Antonio Fernández y Olga Graciela Chum, por sus sacrificios, su apoyo incondicional y por enseñarme a afrontar la vida con honestidad, respeto y disciplina.
- Mis hermanas** Julia María, Olga Felisa y Mónica Gabriela Fernández Chum, por su apoyo moral y espiritual, la enseñanza de cada una se ve reflejada en el cumplimiento de esta meta.
- Mi esposa** Dinora Cardona, por su amor, cariño, comprensión y apoyo fundamental en la culminación de este éxito profesional.
- Mi hija** Maydi Alejandra, que es el motor que mueve mi vida; que este logro sea un ejemplo en su vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Mi asesor**

Ing. Christian Guillermo Arango Mazariegos, por su aportación, colaboración y el tiempo brindado para el desarrollo de este trabajo de graduación.

### **Aceros de Guatemala, S.A.**

Por permitirme utilizar sus procesos e instalaciones para el desarrollo de este trabajo.

### **La tricentenaria**

Universidad de San Carlos de Guatemala, en especial a la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Mecánica, por proveerme de los conocimientos que hoy me hacen un profesional que contribuye al desarrollo del país.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XXI
OBJETIVOS .....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXV
1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE ACERO .....	1
1.1. Historia de la fabricación de acero al carbón .....	1
1.2. Materia prima .....	4
1.3. Horno de arco eléctrico .....	10
1.4. Horno de refinación .....	14
1.5. Máquina de colado continuo .....	18
2. MATERIALES REFRACTARIOS .....	21
2.1. Tipos de materiales refractarios .....	24
2.1.1. Básicos .....	25
2.1.2. Ácidos .....	26
2.1.3. Neutros .....	26
2.2. Ladrillo refractario .....	28
2.2.1. Ladrillo para pared .....	30
2.2.2. Ladrillo para piso .....	33
2.3. Cuadros .....	36
2.3.1. Cuadro portatapón .....	36
2.3.2. Cuadro portaboquillas .....	37

2.4.	Tapón poroso .....	38
2.5.	Boquillas.....	39
2.5.1.	Boquilla superior .....	40
2.5.2.	Boquilla inferior .....	40
2.6.	Materiales complementarios .....	42
2.6.1.	Morteros .....	43
2.6.2.	Concretos .....	46
2.6.3.	Apisonables .....	48
2.7.	Diagrama de materiales refractarios .....	54
3.	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	55
3.1.	Olla.....	55
3.1.1.	Válvula Flo-con .....	56
3.1.2.	Mecanismo para instalación de tapón poroso .....	61
3.2.	Quemadores.....	62
3.2.1.	Quemador vertical .....	62
3.2.2.	Quemador horizontal .....	63
4.	OPERACIÓN DE UNA OLLA .....	67
4.1.	Vaciado de acero en olla .....	67
4.2.	Residencia en horno de refinación .....	70
4.3.	Desgaste de material refractario .....	78
4.4.	Vaciado de acero en distribuidor .....	84
4.5.	Limpieza .....	90
4.6.	Revisión de equipo .....	94
5.	MANTENIMIENTO DE UNA OLLA.....	99
5.1.	Desgaste del material refractario .....	99
5.2.	Demolición del material refractario.....	103

5.2.1.	Material refractario de la pared.....	103
5.2.2.	Material refractario del piso .....	104
5.3.	Armado del material refractario .....	105
5.3.1.	Material refractario de la pared.....	107
5.3.2.	Material refractario del piso .....	109
5.4.	Calentamiento.....	116
5.4.1.	Quemador vertical .....	116
5.4.2.	Quemador horizontal.....	118
5.4.3.	Temperatura de operación .....	121
5.5.	Mantenimiento de válvula Flo-con.....	123
CONCLUSIONES.....		133
RECOMENDACIONES.....		135
BIBLIOGRAFÍA.....		137



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Chatarra de primera.....	5
2.	Chatarra de segunda .....	6
3.	Chatarra de tercera.....	7
4.	Horno de arco eléctrico.....	12
5.	Horno de refinación.....	15
6.	Máquina de colado continuo .....	18
7.	Materiales refractarios .....	24
8.	Ladrillo de magnesita para pared de trabajo .....	33
9.	Ladrillo de magnesita para piso de trabajo.....	35
10.	Cuadro portatapón .....	37
11.	Cuadro portaboquillas.....	38
12.	Tapón poroso.....	39
13.	Boquilla inferior y boquilla superior .....	41
14.	Materiales complementarios .....	52
15.	Diagrama de materiales refractarios .....	54
16.	Olla de refinación.....	56
17.	Válvula Flo-con .....	58
18.	Diseños de operación más comunes de válvula Flo-con.....	60
19.	Mecanismo para instalación de tapón poroso .....	61
20.	Quemador vertical.....	63
21.	Quemador horizontal .....	64
22.	Vaciado de acero líquido en olla de refinación .....	70
23.	Desgaste en línea de escoria de una olla .....	81

24.	Desgaste del diámetro interno de la boquilla inferior .....	83
25.	Desgaste del diámetro interno de la placa móvil.....	84
26.	Colado de acero líquido de la olla al distribuidor.....	87
27.	Limpieza del mecanismo de vaciado de una olla.....	93
28.	Desgaste del material refractario de una olla.....	102
29.	Demolición de la pared de ladrillos de una olla.....	104
30.	Demolición del piso de ladrillos de una olla .....	105
31.	Armado de la pared de ladrillos de una olla.....	108
32.	Armado del piso de ladrillos de una olla .....	111
33.	Calentamiento por medio de quemador vertical.....	118
34.	Calentamiento por medio de quemador horizontal .....	119
35.	Curva de calentamiento de una olla de refinación .....	122
36.	Partes de una válvula Flo-con .....	124

## TABLAS

I.	Ejemplo de valores típicos de la dolomita quemada muerta .....	30
II.	Ladrillo ácido de alúmina recto .....	31
III.	Ladrillo para rampa inicial .....	31
IV.	Ladrillo SU 545 base dolomita .....	32
V.	Ladrillo SU 545 base magnesita .....	32
VI.	Ladrillo ácido de alúmina recto .....	33
VII.	Ladrillo templado de dolomita 4PO T-1.....	34
VIII.	Ladrillo templado de dolomita 4PO HR-27.....	34
IX.	Ladrillo templado de magnesita recto .....	35
X.	Cuadro portatapón.....	36
XI.	Cuadro portaboquillas.....	37
XII.	Tapón poroso .....	39
XIII.	Boquilla superior .....	40



XIV.	Boquilla inferior .....	41
XV.	Mortero seco de fraguado en caliente .....	45
XVI.	Mortero refractario de amarre .....	45
XVII.	Concreto denso de alúmina magnesita .....	47
XVIII.	Concreto con fibra de acero .....	48
XIX.	Mezcla plástica dolomítica para apisonar .....	49
XX.	Masa de granulometría muy fina para apisonar .....	50
XXI.	Masa de granulometría fina para apisonar .....	50
XXII.	Masa dolomítica de relleno para apisonar .....	51
XXIII.	Material apisonable de magnesita .....	51
XXIV.	Características de válvula Flo-con .....	59
XXV.	Características generales del quemador horizontal.....	65
XXVI.	Tipos de óxidos presentes en la escoria. ....	73
XXVII.	Uso del color de la escoria como indicador del estado de oxidación .....	76
XXVIII.	Análisis típico de una escoria no agresiva a la olla.....	82
XXIX.	Presiones de trabajo de resortes de válvula Flo-con .....	130



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Al</b>	Aluminio
<b>S</b>	Azufre
<b>HP</b>	Caballos de fuerza
<b>Ca</b>	Calcio
<b>cm</b>	Centímetro
<b>Cr</b>	Cromo
<b>P</b>	Fósforo
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>hr</b>	Hora
<b>kcal</b>	Kilo caloría
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>lb</b>	Libra

<b>Psi</b>	Libra sobre pulgada cuadrada
<b>lt</b>	Litro
<b>Mn</b>	Manganeso
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>mm</b>	Milímetro
<b>min</b>	Minuto
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>Pa</b>	Pascal
<b>Si</b>	Silicio
<b>Tm</b>	Tonelada métrica

## GLOSARIO

<b>Acerista</b>	Persona especialista en la fabricación de acero.
<b>Alto horno</b>	Es la instalación industrial donde se transforma o trabaja el mineral de hierro.
<b>Aluminio</b>	Es un elemento químico de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metal no ferroso. Posee propiedades tales como baja densidad y alta resistencia a la corrosión.
<b>Anfótero</b>	Es la molécula que contiene un radical base y otro ácido, pudiendo así actuar bien como ácido, o como base, según el medio en que se encuentre.
<b>Apisonado</b>	Acción de apretar o compactar material refractario por medio de una herramienta.
<b>Arrabio</b>	Material fundido obtenido del alto horno mediante reducción del mineral de hierro.
<b>Azufre</b>	Es un elemento químico de número atómico 16 y símbolo S. Es un no metal abundante e insípido.

<b>Bóveda</b>	Con este nombre se le conoce tanto a la tapadera del <i>EAF</i> como del <i>LF</i> y está compuesta de una serie de tubos en forma circular enfriados por agua.
<b>Calcio</b>	Es un elemento químico de símbolo Ca y de número atómico 20. Es un metal alcalinotérreo blando, maleable y dúctil que arde con llama roja formando óxido de calcio y nitruro. Reacciona violentamente con el agua.
<b>Carburo de calcio</b>	Es un compuesto de cal y carbón. Sustancia sólida de color grisáceo que reacciona exotérmicamente con el agua. Su fórmula química es $\text{CaC}_2$ .
<b>Carro olla</b>	Mecanismo en forma de carro transportador, cuya función es trasladar la olla con el acero líquido proveniente del <i>EAF</i> , para formar el horno olla.
<b>Cesta</b>	Recipiente de acero en forma de cacerola cuya función es trasladar la chatarra de la nave hacia el horno de arco eléctrico.
<b>Colada</b>	Con este nombre se le conoce a un lote de acero obtenido desde la materia prima hasta los diferentes productos terminados. En Siderúrgica de Guatemala la capacidad de este lote es de 60 Toneladas métricas.
<b>Colado</b>	Es la acción de vaciar acero líquido del <i>EAF</i> a la olla y de la olla al distribuidor.

<b>Crisol</b>	Es un recipiente que normalmente esta hecho de grafito con cierto contenido de arcilla y que puede soportar elementos a altas temperaturas.
<b>Cromo</b>	Es un elemento químico de número atómico 24, su símbolo es Cr. Es un metal de transición duro, frágil, gris acerado y brillante. Es muy resistente frente a la corrosión.
<b>Cuba</b>	Parte inferior del horno de arco eléctrico compuesta por una coraza de acero recubierta internamente por material refractario, cuya función es almacenar el acero líquido durante la fusión.
<b>Curado</b>	Secar o preparar convenientemente un material refractario para su conservación.
<b>Delta</b>	Es la pieza de material refractario instalada al centro de la bóveda, provista de tres agujeros simétricamente distribuidos, por los cuales se realiza el movimiento vertical de los electrodos.
<b>Desescoriar</b>	Término utilizado para retirar del horno de arco eléctrico, la escoria que se forma sobre el acero, por medio de la compuerta de dicho horno.
<b>Desfosforación</b>	Disminución del contenido de fosforo en el acero, mediante la adición de óxidos de calcio y magnesio.

<b>Desoxidación</b>	Reducción de las partes por millón de oxígeno contenidas en el acero, mediante la adición de óxidos.
<b>Desulfuración</b>	Disminución del contenido de azufre en el acero, mediante la adición de óxidos de calcio y magnesio.
<b>Difusión</b>	Es el movimiento de partículas de un área en donde están en alta concentración a un área donde están en menor concentración hasta que estén repartidas uniformemente.
<b>Dióxido de silicio</b>	Es un compuesto de silicio y oxígeno, llamado comúnmente sílice. Una de las formas en que aparece naturalmente es el cuarzo. Su fórmula química es $\text{SiO}_2$ .
<b>EAF</b>	Horno de Arco Eléctrico por sus siglas en inglés ( <i>Electric Arc Furnace</i> ).
<b>EBT</b>	Piquera vertical de colada excéntrica por el fondo, por sus siglas en inglés ( <i>Eccentric Bottom Tipping</i> ).
<b>Empalme</b>	Es la acción de iniciar el colado de una olla al distribuidor, inmediatamente después de terminado el anterior, sin necesidad de cambiar dicho distribuidor.
<b>End-brick</b>	Bloque final. Es la última pieza inferior de la serie de bloques de material refractario del cual está fabricado el <i>EBT</i> .



<b>Escoriadero</b>	Área delimitada exclusivamente para depositar acero y/o escoria proveniente del EAF o de la olla de refinación.
<b>Ferroaleaciones</b>	Son compuestos formados de hierro y otro elemento como manganeso, silicio, níquel, cromo o vanadio y se agregan al acero en el proceso de refinación del mismo.
<b>Fósforo</b>	Es un elemento químico de número atómico 15 y símbolo P. Es muy reactivo y se oxida espontáneamente en contacto con el oxígeno atmosférico.
<b>Fraguado</b>	Es el endurecimiento de un material refractario mediante una reacción química.
<b>Fundentes</b>	Amplia gama de productos químicos que se utilizan en los procesos de fusión de los minerales y para eliminar parte de la escoria del propio proceso de fusión.
<b>Gradiente</b>	Razón entre la variación del valor de una magnitud en dos puntos próximos y la distancia que los separa.
<b>Grafito</b>	Es una presentación del carbón bajo estructuras moleculares diferentes.
<b>Grúas pórtico</b>	Son grandes estructuras con ruedas que se desplazan sobre rieles. Estas grúas se caracterizan por estar a la intemperie y su función es cargar y descargar chatarra fuera de la nave interna.

<b>Hierro esponja</b>	Mineral de hierro procesado que es lo suficientemente rico en hierro para utilizarlo como sustituto de la chatarra en acería en hornos eléctricos.
<b>Lancear</b>	Acción de insuflar oxígeno por medio de un tubo al mecanismo de colado de una olla (boquillas-placas).
<b>LF</b>	Horno olla por sus siglas en inglés ( <i>Ladle Furnace</i> ).
<b>Ligar</b>	Atar, unir o enlazar.
<b>Manganeso</b>	Elemento químico metálico, de brillo acerado, duro y quebradizo, oxidable, se emplea en la fabricación del acero. Su símbolo es Mn y su número atómico 25.
<b>Material cerámico</b>	Es un tipo de material inorgánico, no metálico, buen aislante y que además tiene la propiedad de tener una temperatura de fusión y resistencia muy elevadas.
<b>MCC</b>	Máquina de Colado Continuo.
<b>Metalurgia secundaria</b>	Nombre que se le da al proceso de refinación de acero líquido mediante el sistema de horno olla o <i>LF</i> .
<b>Monolítico</b>	Es el nombre que se le da a la conformación de un material elaborado en una sola pieza, sin fisuras, cortes o juntas.

<b>Olla</b>	Recipiente de acero en forma de cacerola recubierto de material refractario, cuya función es recibir, refinar y colar acero líquido.
<b>Óxido de aluminio</b>	Conocido comúnmente como alúmina, su fórmula química es $Al_2O_3$ y junto con la sílice, es el componente más importante en la constitución de arcillas y esmaltes.
<b>Óxido de calcio</b>	Más conocido como cal o cal viva, forma parte de los óxidos que componen las escorias y los materiales refractarios. Reacciona violentamente con el agua. Su fórmula química es $CaO$ .
<b>Óxido de magnesio</b>	Es un compuesto de magnesio y oxígeno y forma parte de los óxidos que componen las escorias y los materiales refractarios. Su fórmula química es $MgO$ .
<b>Palanquilla</b>	Forma de acero semi terminado procesada de máquina de colado continuo que se utiliza para productos largos: barras, canales u otras formas estructurales.
<b>Pirómetro óptico</b>	Es un dispositivo que puede medir la temperatura de una sustancia o de un cuerpo sin estar en contacto con ella.
<b>Pistoleado</b>	Acción de depositar material refractario mediante una herramienta neumática.

<b>Quemador</b>	Equipo instalado dentro del horno de arco eléctrico, cuya función es insuflar oxígeno y carbón al baño de acero líquido.
<b>Recarburación</b>	Proceso por el cual se insufla carbón al acero para aumentar su porcentaje en la mezcla en el proceso de pre afinación del <i>EAF</i> .
<b>Refractabilidad</b>	Capacidad de un material para soportar temperaturas elevadas.
<b>Residuales</b>	Con este nombre se les conoce a los elementos indeseables del acero, entre estos están el azufre, fosforo, cobre entre otros.
<b>Silicio</b>	Es un elemento químico no metálico, numero atómico 14 y situado en el grupo 4 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Si.
<b>Sinterizar</b>	Producir piezas de gran resistencia y dureza mediante el calentamiento, sin llegar a la temperatura de fusión.
<b>Solera</b>	Es el piso del horno de arco eléctrico compuesto de material refractario.
<b>Temperatura de <i>líquidus</i></b>	Temperatura a la cual el acero comienza a solidificarse.

<b>Tolva</b>	Espacio en forma de piqueta instalado en la bóveda del <i>LF</i> para la adición de los materiales en el proceso de refinación de acero en la olla.
<b>Tonelada corta</b>	2 000 libras (906 kilogramos). Unidad normal del consumo estadístico de materia prima y de producción de acero en los Estados Unidos.
<b>Trabajabilidad</b>	Es la capacidad de un material refractario de poder moldearse, adherirse, proyectarse y solidificarse de acuerdo a su aplicación.
<b>Vaciado</b>	Acción de verter o depositar material refractario sobre una superficie o cavidad.



## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la planta de Acería del parque industrial Siderúrgica de Guatemala, empresa perteneciente a la Corporación Aceros de Guatemala, S.A., ubicada en el departamento de Escuintla.

El proceso de fabricación de acero por medio de horno de arco eléctrico, es único en el país, y se desarrolla en Siderúrgica de Guatemala. Se utiliza la chatarra como materia prima, la cual se funde en el horno de arco eléctrico, para producir acero líquido, este es vaciado en una olla para su refinación, transporte y evacuación a más de 1 600 grados Celsius. Esta olla de refinación, está fabricada de una coraza de acero cubierta de material refractario en todo su interior, mismo que al desgastarse, permitiría el contacto directo del acero líquido con el acero de la olla, fundiendo este último inmediatamente, lo cual provocaría un derrame de acero líquido, seguido de consecuencias catastróficas.

Por ende, en este documento se conocerá el detalle de los materiales refractarios que componen dicha olla de refinación, haciendo énfasis en sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas, así como en los tipos de ladrillos, piezas especiales y materiales complementarios.

Paralelo a lo anterior, la olla cuenta con diferentes equipos, tales como los quemadores cuya función es calentar los materiales refractarios antes de recibir el acero líquido, una válvula especial que permite la evacuación controlada del acero líquido por debajo de la olla, y el mecanismo que permite la sujeción segura del cono de insuflado de gas inerte por debajo de la olla.

Discutido lo anterior, se da a conocer la operación de la olla de refinación desde el punto de vista de los materiales, iniciando por el vaciado del acero líquido a la olla, pasando por los procesos de refinación. En esta parte, y en el vaciado del acero líquido al distribuidor, es donde los materiales sufren su mayor desgaste, debido a la exposición de los mismos con el acero líquido de la olla. La limpieza y revisión del equipo culminan con la operación respectiva.

Además, considerando que tanto los equipos como los materiales refractarios tienen una vida útil, es necesario realizar un mantenimiento de los mismos, el cual consiste en la demolición del material refractario y su posterior armado de material y equipo nuevos. Para evitar el choque térmico y lograr la expansión de los materiales, es necesario calentarlos a cierta temperatura, lo cual permitirá que la olla esté lista para entrar en operación.



# OBJETIVOS

## General

Realizar un manual que contenga las operaciones y procedimientos utilizados para la operación y mantenimiento de una olla de refinación empleada para el proceso de fabricación de acero al carbón.

## Específicos

1. Desarrollar información que permita conocer el proceso general de fabricación de acero al carbón mediante horno de arco eléctrico.
2. Conocer los tipos de materiales refractarios, sus propiedades y las características constructivas de dichos materiales.
3. Obtener información acerca del equipo que se utiliza en la operación y mantenimiento de una olla de refinación.
4. Crear un documento profesional, mediante conceptos básicos, procedimientos técnicos y teoría experimental acerca de la operación de los materiales refractarios de una olla de refinación.
5. Definir los pasos y procedimientos necesarios para el correcto mantenimiento del equipo y los materiales refractarios de una olla de refinación.

6. Reducir el tiempo de aprendizaje y adaptación de técnicos y profesionales que se inician en el tema.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en el mundo, la tecnología se ha ido apoderando del modo de vida de los seres humanos, casi en cualquier parte de la tierra, se observan construcciones, edificios, vehículos, puentes y todo tipo de máquinas y súper estructuras que hacen al planeta depender de la fabricación de acero para poder crearlas. Es así como la producción de acero de buena calidad y bajo costo se ha convertido en un reto para los profesionales de la metalurgia, siendo uno de los mayores logros, la fabricación de acero mediante el proceso de horno de arco eléctrico.

Es importante señalar que en todo proceso existen puntos críticos, los cuales es necesario identificar y en este caso, uno de ellos es el que tiene lugar en las ollas de refinación. Una olla de refinación, es un recipiente hecho de acero, protegido internamente con material refractario que se utiliza para recibir el acero líquido vaciado a grandes temperaturas del horno de arco eléctrico, para esta operación, es necesario proteger el interior de dicha olla con un material resistente a dichas temperaturas del acero, ya que sin este, el acero vaciado del horno, fundiría el acero del que está compuesta la olla.

La operación y mantenimiento de este tipo de materiales, requiere de un proceso previamente elaborado, en donde interviene un selecto grupo de maquinaria, equipo, materiales y mano de obra calificada, todo esto, con el objeto de manejar y desarrollar de manera eficiente los pasos requeridos para recibir, refinar, trasladar y evacuar acero líquido a grandes temperaturas en dicho recipiente. Además, estos materiales requieren de reparaciones y sustituciones para lo cual es necesario conocer los aspectos técnicos y

profesionales que nos ayuden a alargar su vida útil, a conocer en qué momento es imprescindible reemplazarlos y a mantenerlos a un máximo rendimiento y óptima disponibilidad al momento de ser requeridos para entrar en operación.

Por esta razón, el presente trabajo será orientado a conocer detalladamente todos los materiales y el equipo básico que componen una olla de refinación, así como la descripción minuciosa de los pasos y procedimientos que conllevan a la operación y mantenimiento de la misma.

# 1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE ACERO

## 1.1. Historia de la fabricación de acero al carbón

El acero es una aleación hierro-carbón, con otros componentes que le ayudan a definir su gran variedad de propiedades físico-químicas. Juegan un papel fundamental, el manganeso y el silicio en la resistencia mecánica. Las dos grandes fuentes de origen para la fabricación del acero en general son:

- Los minerales de hierro, en forma de óxidos que existen en la naturaleza bajo distintas leyes de concentración, y
- Las chatarras de acero o fundiciones reciclables que se encuentran como partes de maquinaria, equipos y otros, o en forma de desechos metálicos. Ambas procedencias del acero producen óptimas calidades del mismo, dependiendo de la precisión y calidad tecnológica con que sean empleadas.

La fabricación del acero, ya sea partiendo de los productos del mineral de hierro, o de las chatarras, se realiza a través de cuatro diferentes procedimientos principales que son:

- Horno de hogar abierto o Siemens Martin

Estos hornos se utilizan principalmente para la fusión y afinado de acero destinado a la fabricación de lingotes, se cargan con arrabio y el calor se obtiene mediante la inyección de aceite o gas.

- Convertidor Bessemer Thomas

Consiste en una caldera con forma de pera forrada con acero y revestida por el interior con material refractario, la parte superior está abierta y mediante la inyección de aire a presión, se afina el arrabio obtenido del alto horno.

- Convertidor de oxígeno

Es un horno muy parecido al Bessemer, con la gran diferencia que a este horno en lugar de inyectar aire a presión, se le inyecta oxígeno a presión, con lo que se eleva mucho más la temperatura en un tiempo muy reducido. También utiliza arrabio, chatarra y cal.

- Horno eléctrico

Se compone de una coraza de acero revestida con material refractario, en cuyo interior se funde y afina acero líquido, se carga con chatarra o arrabio y el calor se obtiene mediante la energía eléctrica.

Las calidades obtenidas a través de los cuatro procesos pueden ser óptimas, dependiendo de los medios empleados y de la calificación del personal.

En este caso, el método o proceso de fabricación del acero que nos interesa, es el realizado en los hornos de arco eléctrico, pues aparte de ser el único que se utiliza en Centroamérica, es del que se va a tratar en esta redacción.

La recuperación de las chatarras ferrosas ha sido el tema de concentración de los esfuerzos inversionistas y en la actualidad puede decirse que dichos esfuerzos, están orientados para obtener una capacidad instalada autosuficiente para la producción de aceros al carbón.

El procedimiento en horno de arco eléctrico puede ser el más controlable y el más exacto de todos y ejecutado por manos expertas, puede producir las calidades más exigentes del acero. Normalmente son trifásicos y la mayor parte de aceros para herramientas se funde en hornos de arco eléctrico.

Los hornos eléctricos se clasifican de acuerdo al calor empleado en:

- Hornos de resistencias

Son aquellos en que la energía requerida para su calentamiento, es de tipo eléctrico y procede de la resistencia óhmica directa de las piezas o de resistencias eléctricas dispuestas en el horno que se calientan por efecto Joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor.

- Hornos de inducción

Son hornos eléctricos en los que el calor es generado por calentamiento por la inducción eléctrica de un medio conductivo (un metal) en un crisol, alrededor del cual se encuentran enrolladas bobinas magnéticas.

- Hornos de arco directo

Estos se calientan por medio de un arco eléctrico, el cual salta directamente entre el electrodo y el metal a fundir

Estos últimos, son los más usados para la fabricación de acero y más específicamente los hornos de arco directo de corriente alterna trifásicos. La materia prima que utilizan puede ser chatarra, hierro esponja y carga líquida.

A partir de 1980 se comenzó a desarrollar y aplicar en campo los hornos de arco directo. Las capacidades iniciales de estos variaron entre 12 y 35 toneladas de acero líquido por colada y han evolucionado de tal forma que actualmente hay una serie de diseños de hasta 150 toneladas de acero líquido por colada. Los aceros que se logran producir del proceso de horno eléctrico de arco directo son:

- Aceros efervescentes, los cuales pueden ser de bajo carbón, medio carbón y alto carbón.
- Aceros semicalmados
- Aceros calmados

## **1.2. Materia prima**

La materia prima para la fabricación de acero al carbón, es la chatarra, y esta se clasifica de acuerdo a su densidad y contenido de residuales en los siguientes tipos:



- Chatarra de primera

Es la de mejor calidad, su espesor mínimo es de ¼ de pulgada, las densidades se encuentran arriba de los 800 kilogramos por metro cúbico y en algunos casos contiene bajos residuales. La figura 1 muestra algunos ejemplos de la chatarra de primera más utilizada y entre estas se puede mencionar:

- Chatarra fragmentada
- Riel de ferrocarril
- Maquinaria pesada
- Piezas automotrices
- Estructuras metálicas
- Hierro fundido

Figura 1. **Chatarra de primera**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

- Chatarra de segunda

Es la de mediana calidad, su espesor máximo es de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, las densidades se encuentran debajo de los 700 kilogramos por metro cúbico y contiene bajos residuales. La figura 2 muestra algunos ejemplos de la chatarra de segunda más utilizada y entre estas se puede mencionar:

- Lámina de carro limpia (no oxidada)
- Perfiles livianos
- Tubería liviana
- Carrocerías livianas
- Angulares de estructuras
- Chatarra compactada de material liviano en forma de paca

Figura 2. **Chatarra de segunda**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

- Chatarra de tercera

Es la de baja calidad, su espesor puede ser menor de 1 milímetro, las densidades son muy bajas y los residuales muy altos. La figura 3 muestra un ejemplo de chatarra de tercera y entre estas se puede mencionar:

- Chatarra compactada de estaño en forma de paca
- Chatarra troquelada a granel
- Rollos de alambre
- Lámina muy delgada
- Chatarra compactada de material de baja densidad en forma de paca

**Figura 3. Chatarra de tercera**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

- Pérdidas metálicas

Esta chatarra en su totalidad, son rechazos o mermas de los diferentes procesos de la industria metalúrgica, se considera de alta densidad y bajos residuales, entre estas se puede mencionar:

- Pedazos de palanquilla
- Palanquilla rechazada
- Merms de distribuidor
- Acero procesado rechazado en forma de tortas
- Rebabas de acero

La chatarra es descargada en los patios, por lo que la superficie total de los mismos es grande y se encuentran situados fuera de la acería. La descarga se efectúa en base a prioridades, siendo la primera el tipo de chatarra y la segunda la calidad de la misma, así como otros aspectos tales como la ubicación, el tiempo de descarga disponible y la maquinaria disponible.

Es de suma importancia mencionar que entre la chatarra recibida en estos patios, existen materiales no ferrosos, entre los más comunes están el aluminio, cobre, estaño, y es función del personal que labora en el área, identificarlos y aislarlos del proceso. La distribución se realiza de la siguiente manera:

- Nave de chatarra

Es la ubicación más cercana al horno eléctrico y por lo tanto la chatarra que se descarga o traslada en este lugar, no necesita de ningún tipo de preparación o ya fue preparada previamente. Esto significa que a este sitio se envía toda la chatarra relativamente pequeña con dimensiones máximas de 80

centímetros, alta densidad y que aparentemente es apta en su análisis químico. Las dimensiones mencionadas son sumamente importantes en el proceso de fundición, ya que piezas de chatarra más grandes, podrían quedar desacomodadas dentro del horno, pudiendo ocasionar ruptura de electrodos y/o perforación de paneles por arco eléctrico.

- Pórticos

En este lugar se descarga chatarra con las mismas características de la nave de chatarra, ya que este sitio funciona como un soporte a dicha nave, es decir, la chatarra que aquí se ubica sirve para completar la carga del horno. Su nombre se origina de la operación de dos grúas llamadas grúas pórtico, las cuales se utilizan para transportar la chatarra mencionada.

Estas grúas también cumplen una función muy particular, que consiste en partir o quebrar la chatarra de hierro fundido que excede las dimensiones de 80 centímetros y que por sus características químicas, no es posible cortar por medio de oxi corte.

- Patios de corte

Este lugar está destinado para la descarga de chatarra de grandes dimensiones y alta densidad y que por lo primero no puede ser cargada directamente al horno eléctrico. Por lo tanto, por medio de equipo de oxi corte, este material es cortado para posteriormente trasladarlo a la nave de chatarra, con las dimensiones adecuadas para su posterior utilización.

Cabe mencionar, que en este sitio, operan dos máquinas con la capacidad de cortar la chatarra, una de ellas, la más grande, cumple con la función

específica de cortar chatarra de grandes dimensiones, la otra, un minicargador al cual se le puede adaptar varias herramientas tales como un cucharón, una barredora, una garra hidráulica y una tijera, esta última, para el corte de chatarra mencionado.

- Patios de fragmentado

Es aquí a donde es trasladada toda la chatarra de segunda calidad, que por su baja densidad, es apta para ser fragmentada o convertida en chatarra de alta densidad. Es importante mencionar que durante este proceso de fragmentación, se le extrae a la chatarra todas las impurezas físicas tales como tierra, madera, plástico, etc., y más importante aún, los materiales no ferrosos anteriormente mencionados.

Finalmente, la preparación de la carga en las cestas, a lo cual se le llama entrega de chatarra, se hace de acuerdo al programa de fabricación, para lo cual debe de existir en la báscula una terminal de la computadora en la que el supervisor de bascula revise el programa de fabricación y de acuerdo a esto solicitar a los operadores de las grúas mediante un radio intercomunicador, la calidad y cantidad de chatarra que necesita en una cesta determinada.

### **1.3. Horno de arco eléctrico**

El horno de arco eléctrico *EAF* para la fabricación de acero, se compone de una coraza de acero recubierta interiormente con material refractario y un complemento superior de paneles de acero enfriados por agua; una puerta en la parte frontal para desescoriar, agregar fundentes, insuflar oxígeno, tomar muestras y temperaturas; y en su parte posterior una piquera vertical de colada

excéntrica por el fondo llamada *EBT*, utilizado para vaciar el acero a la olla. Este horno tiene una capacidad instalada de 80 toneladas de acero líquido.

El horno cuenta con tres quemadores que usan como combustible diesel y oxígeno, instalados en puntos estratégicos que ayudan a fundir la chatarra que se encuentra en puntos relativamente lejanos al arco eléctrico de los electrodos, los quemadores están colocados con cierta simetría en la cuba del horno en las tres partes menos calientes, a unos 30 centímetros sobre el nivel de la escoria, y orientados con cierta inclinación, de tal forma que las llamas coincidan con el centro de la cuba.

La bóveda del horno es de forma cóncava, fabricada de acero con paneles enfriados por agua y el centro es de material refractario con tres orificios en una posición triangular para permitir la entrada de los electrodos de grafito, a esta parte de la bóveda se le conoce como delta, existe un cuarto orificio para el desahogo de los gases provocados por el proceso de fusión y preafinación y las reacciones químicas generadas dentro del horno.

Los tres procesos fundamentales del *EAF* son la fusión de la carga, la preafinación y el colado de acero líquido. En la figura 4 se observa un horno de arco eléctrico de corriente alterna trifásica.

La fusión de la carga se realiza inmediatamente después de cargar la chatarra, se energizan los electrodos y se comienza a fundir. La carga normal llega en la cuba del horno hasta la parte alta o ras de la bóveda, en esta parte deben estar situadas las chatarras pequeñas y sueltas que se funden rápidamente aplicando una potencia baja, de manera que penetren los electrodos en la chatarra sin deterioro de la bóveda por el arco eléctrico de cada

electrodo, quedando este oculto, para después poder aplicar la máxima potencia.

Figura 4. **Horno de arco eléctrico**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Durante la fusión, los electrodos perforan la carga fundiendo cada uno, una sección superior al diámetro del electrodo, en función de la longitud del arco. En el centro de la carga siempre existen chatarras de mayor densidad, para cuando se aproximen los electrodos a la solera, se habrá formado sobre esta, un baño líquido, y así no se dañe el refractario del revestimiento.

Debemos recordar que el fin del acerista es conseguir una fusión rápida, con el mínimo consumo de energía y con el menor deterioro de los revestimientos refractarios, teniendo en cuenta que hay tres periodos delicados:

- El correspondiente justamente al comienzo de fusión de cada cesta, cuando el arco puede dañar la bóveda.
- El correspondiente a la llegada de los electrodos a la solera.



- El período de fin de fusión cuando el arco es muy largo, la radiación muy intensa y la tensión elevada, que puede dañar la bóveda y paredes del horno más allegadas a los electrodos.

Durante la fusión, la escoria generalmente formada por una mezcla de cal y grafito, permite dar características aptas para el comienzo de la desfosforación antes de terminarse la fusión de la carga. Cuando termina la fusión se obtiene un baño de acero líquido a baja temperatura y poco homogéneo en su composición química, compuesto de óxido de hierro e impurezas no deseables, este baño de acero, debe tener un contenido de carbón suficiente para iniciar el afino oxidante o pre afinación.

La preafinación, es básicamente el proceso de calentar el acero líquido formado por la fusión de la chatarra, al mismo tiempo que se insufla oxígeno y carbón, las reacciones químicas que se producen sumado a la expulsión de la escoria por la puerta del horno, permiten la disminución de los elementos azufre y fósforo del baño de acero líquido. El último paso del pre afinado, es lograr un porcentaje de carbón inferior al requerido en la muestra final, definido en base al grado de acero a fabricarse.

Cuando el proceso de pre afinación es concluido, el acero se calienta a una temperatura adecuada dependiendo del tipo de acero a fabricar y el acero es vaciado en una olla, para dar inicio al proceso de refinación. El vaciado se realiza mediante un mecanismo llamado *EBT*, el cual consiste en la ubicación de un agujero de colado en un extremo del fondo del *EAF*, y su finalidad es la de no dejar pasar escoria junto con el acero vaciado al horno de refinación. Este vaciado es el paso que marca el final del proceso del *EAF* y el inicio del proceso de horno de refinación.

Los materiales usados en el *EAF* son los siguientes:

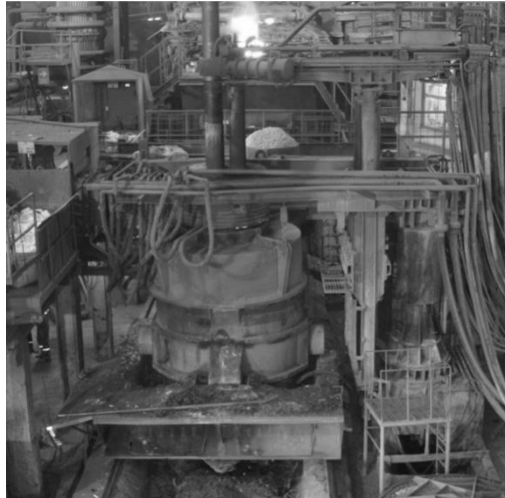
- Electroodos de grafito
- Ladrillos refractarios
- Carbón
- Tubos para insuflar oxígeno
- Cal
- Ferro aleaciones
- Oxígeno

#### **1.4. Horno de refinación**

El horno de refinación, conocido también como horno olla *LF*, se forma cuando la olla de refinación en donde fue vaciado el acero, es transportada por medio de un carro-olla justo por debajo de una estación de calentamiento a través de electrodos de grafito, la cual cuenta con una bóveda fabricada de acero, similar a la del *EAF*, con paneles enfriados por agua, provista con tres orificios en el centro en posición triangular para permitir la entrada de los electrodos de grafito y un cuarto orificio para el desahogo de la flama y salida de gases producidos por el proceso de refinación del acero. Entonces, en ese momento, la olla de refinación se convierte en un horno de refinación de acero líquido. Ver figura 5.

La bóveda cuenta con una tolva, instalada estratégicamente de tal forma que cuando dicha bóveda descansa sobre la olla, esta tolva se posiciona, justo en la dirección de salida de la burbuja del gas agitador y es por esta tolva, donde se agregan los materiales para refinar el acero.

Figura 5. **Horno de refinación**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

El uso más frecuente de este tipo de horno es para realizar el afino y el ajuste de las coladas, dejando el horno eléctrico como equipo dedicado solo a la fusión de la colada. También se usa para lograr aceros extra limpios y de muy bajo azufre. Puede ser usado como calentador de coladas que se han enfriado en la MCC, por sus siglas en español (máquina de colado continuo) o que por problemas en la misma, se regresan al horno de refinación por imposibilidad de seguir colando.

La refinación es realizada en este horno con aportación de nueva escoria al agregarle cal a la olla y agentes desoxidantes, tales como el grafito, carbón en polvo, carburo de calcio y otros elementos.

La desoxidación del acero, es uno de los procesos más importantes en el horno de refinación. Consiste en reducir las partes por millón de oxígeno contenidas en el acero; tal es la teoría, de forma que desoxidando la escoria,

ésta se encarga de la desoxidación del acero. Este sistema es llamado desoxidación por difusión, y su objetivo es desoxidar el baño de acero líquido, evitando en lo posible la formación de residuos o inclusiones metálicas en él. Por eso, en lugar de introducir desoxidantes en el baño, tales como el silicio, aluminio, etc., se busca únicamente poner en contacto el baño con una escoria tal, que los equilibrios físico-químicos que se establezcan en ambos, den como resultado un mínimo contenido de oxígeno en el baño.

La desulfuración también juega un papel muy importante. Consiste en disminuir el contenido de azufre en el acero mediante la adición de óxido de calcio y magnesio, ya que es necesario que el acero líquido, cuente con los porcentajes adecuados de dicho azufre para no perjudicar su análisis químico final y por ende sus propiedades físico-químicas.

El análisis químico debe hacerse siempre sobre un acero bien desoxidado, preferentemente a través de una escoria perfectamente desoxidada, con posteriores adiciones de manganeso, silicio, etc., en forma de ferro aleaciones, siempre que el contenido de carbón lo permita, hasta prepararlo con una composición química de cada elemento de acuerdo a los rangos establecidos.

Los materiales más importantes usados en la desoxidación y desulfuración del acero en el horno de refinación, se pueden clasificar por su aportación al proceso de la siguiente manera:

- Aluminio

El aluminio se usa como un agente desoxidante y generalmente como adición en la olla de refinación al momento del vaciado, para la fabricación de aceros de bajo carbón. Este material no requiere preparación previa a su uso, ya que se recibe en forma de barras, o discos y se adiciona por peso, también se agrega de manera continua en forma de alambre por medio de un carrete.

Cuando este es adicionado a la olla antes del vaciado de acero, se usan de 2 a 5 barras dependiendo del porcentaje de carbón. Cuando es adicionado al acero líquido en el proceso de refinación, depende del grado de acero que se esté fabricando y del grado de oxidación del mismo, la cantidad que hay que agregar.

- Ferroaleaciones

Son compuestos de hierro y otros elementos como el manganeso y silicio, por su gran densidad, estas inciden directamente en el baño de acero líquido, y ayudan a la desoxidación y desulfuración de este, al mismo tiempo que aportan al porcentaje de dichos elementos en la composición química de la mezcla. Las principales ferroaleaciones que se utilizan dependiendo del grado de acero a fabricar son:

- Ferro manganeso
- Ferro silico manganeso
- Ferro silicio

## 1.5. Máquina de colado continuo

La máquina de colado continuo (MCC), es una serie de máquinas y equipos por medio de los cuales el acero líquido es distribuido en moldes con el objetivo de solidificar un volumen específico y continuo del mismo, que posteriormente será seccionado en largos predefinidos. La figura 6 muestra una gran parte de dicha máquina.

Figura 6. Máquina de colado continuo



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Las partes que componen la máquina de colado continuo se describen a continuación:

- Torreya giratoria

Es un mecanismo con dos brazos giratorios independientes, provistos cada uno con dos bases, sobre las cuales se instala la olla procedente del horno de refinación para su respectivo colado.

- Distribuidores

Reciben el chorro de acero de la olla y lo distribuyen en varios chorros de menor diámetro a los moldes de las lingoteras.

- Lingoteras

En las lingoteras el acero se solidifica a través de moldes de cobre rectangulares refrigerados con agua en el exterior de las cuatro paredes de dicho molde, a esto se suma una lubricación interna de aceite vegetal y un mecanismo de oscilación, cuya función es evitar la fundición del molde con el acero líquido.

- Sistema de enfriamiento de la palanquilla

Inmediatamente después de que el acero líquido abandona el molde de la lingotera, inicia el proceso de solidificación por medio de aspersión de agua a alta presión, esta se da a lo largo de un recorrido curvo desde la parte inferior de los moldes, hasta el nivel del piso, la cual garantiza dicha solidificación, es aquí donde se desarrolla el enfriamiento primario y secundario.

- Enderezado

Es un sistema a base de motores y rodillos, cuya función es cambiar o enderezar el recorrido curvo que trae la palanquilla del sistema de enfriamiento, con el objetivo lograr un movimiento horizontal para su posterior seccionamiento.

- Sistema de corte

Una vez establecido el largo de la palanquilla, se procede a seccionar la misma mediante un sistema de oxígeno y gas.

- Cama de enfriamiento

Es una estructura sobre la cual descansa la palanquilla que se va evacuando del proceso, con este tiempo de permanencia en dicha estructura, se logra el enfriamiento parcial de la palanquilla para su posterior traslado al patio.

- Evacuación

Por medio de un montacargas, se procede a trasladar la palanquilla al lugar denominado patio de palanquilla, para continuar su proceso de enfriamiento. La temperatura de la palanquilla al entrar en dicha zona es superior a los 700 grados Celsius y aún está dentro de las temperaturas críticas de transformación, por lo que requiere de enfriamiento lento.



## 2. MATERIALES REFRACTARIOS

Los refractarios son aquellos materiales no metálicos o cerámicos que resisten la acción de sólidos, líquidos o gases a altas temperaturas. Los refractarios son típicamente óxidos de elementos tales como magnesio, aluminio, calcio, silicio, cromo, etc. Estos materiales son esenciales en casi todos los procesos de calentamientos industriales, y estos van desde el fundido de metales hasta la manufactura de vidrio, cemento y cerámica.

La función de los materiales refractarios es la de servir como materiales de revestimiento, ya que estos conservan sus propiedades mecánicas a altas temperaturas, como es el caso de los recubrimientos en los hornos, empleados en la industria del hierro y el acero, en la de los cementos, en la de las cales y productos cerámicos, en la fabricación de vidrio y en este caso en particular, en los recubrimientos de las ollas de refinación. Los materiales refractarios tienen ciertas propiedades, las cuales se describen a continuación:

- Propiedades físicas

Entre las propiedades físicas más importantes se pueden mencionar las siguientes:

- Porosidad aparente

Es la medida efectiva de los poros abiertos en un refractario en los cuales puede penetrar metal, escoria, fluidos, vapores, etc., y contribuir a la eventual degradación de la estructura.

- Densidad

Esta generalmente va relacionada con la distribución del tamaño de las partículas, una alta densidad implica una estructura cerrada que permite una mejor resistencia al ataque químico, decremento en la penetración del metal, resistencia a la abrasión, entre otras.

- Propiedades mecánicas

Entre las propiedades mecánicas más importantes se pueden mencionar las siguientes:

- Módulo de ruptura

Es una medida a temperatura ambiente de la resistencia a la fractura que presenta un material refractario, esta propiedad está relacionada con las características de manejabilidad, resistencia a la abrasión o al impacto.

- Resistencia a la compresión

Indica la resistencia a la deformación por compresión a temperatura ambiente. Se emplea generalmente para control de calidad como un indicador de la integridad de un refractario sin tratamiento térmico, afecta las características de abrasión y resistencia al impacto.

- Propiedades termo-mecánicas

Entre las propiedades termo-mecánicas más importantes se pueden mencionar las siguientes:

- Expansión térmica

Es una característica intrínseca de los productos refractarios, los cuales exhiben cambios dimensionales cuando son expuestos a calentamiento, enfriamiento o combinaciones cíclicas entre ellos.

- Módulo de ruptura en caliente

Indica la resistencia que opone un refractario a la fractura a una determinada temperatura. Provee una medida directa de la integridad estructural y las características generales de la resistencia a la abrasión de un refractario en el rango esperado de la aplicación.

- Choque térmico

Es el cambio brusco de temperatura que puede experimentar un material refractario.

- Propiedades térmicas

Entre las propiedades térmicas más importantes se pueden mencionar la siguiente:

- Conductividad térmica

Es la medida de la cantidad de calor que puede transmitir un producto refractario a través de una unidad de área en un tiempo definido.

## 2.1. Tipos de materiales refractarios

Los refractarios pueden ser clasificados en diferentes formas, sin embargo, las clasificaciones más aceptadas son: de acuerdo a su comportamiento químico y de acuerdo a su origen y/o constitución mineralógica. La figura 7 muestra algunos de los materiales refractarios utilizados en las ollas de refinación.

Desde el punto de vista químico, los refractarios pueden clasificarse en:

- Básicos
- Ácidos
- Neutros

Figura 7. **Materiales refractarios**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Mientras que desde el punto de vista mineralógico, la clasificación de los refractarios puede hacerse ya sea tomando en cuenta las materias primas con que están fabricados o también con respecto al mineral predominante después

de su fabricación; en cualquier caso, los podemos clasificar en los siguientes grupos:

- Básicos
- Sílice
- Arcilla
- Alta alúmina
- Carbón
- Aislantes

Sin embargo, ya que el segundo grupo está contenido en el primero, para tener un mejor entendimiento del origen y naturaleza de los refractarios, los clasificaremos de la siguiente manera:

### **2.1.1. Básicos**

Los componentes más conocidos de esta clasificación son el óxido de calcio más conocido como cal y el óxido de magnesio más conocido como magnesia y pueden reaccionar químicamente en presencia de temperaturas con escoria, fundentes o refractarias de naturaleza ácida.

Desde el punto de vista mineralógico, estos refractarios constan básicamente de óxido de magnesio, y de óxido de cromo. Los refractarios básicos, según sus contenidos en los dos óxidos fundamentales magnesia y cromita, se identifican y clasifican como magnesia, magnesia-cromo, cromo-magnesia y cromo. Dentro de este grupo de refractarios básicos, también podemos incluir a la dolomita, los refractarios impregnados y los refractarios de carbón-magnesia.

### **2.1.2. Ácidos**

Estos refractarios contienen cantidades substanciales de dióxido de silicio sin combinar, la cual puede reaccionar químicamente en presencia de temperatura con escorias, humos, gases o refractarios de naturaleza básica. Los refractarios ácidos más comunes son obviamente los de sílice y los de arcilla, también llamados silicio-aluminosos y los describiremos brevemente:

- Refractarios ácidos de sílice

Los refractarios de este grupo, están compuestos principalmente de dióxido de silicio, llamado comúnmente sílice o sílica.

- Refractarios ácidos de arcilla

Los refractarios de este grupo también llamados silicio-aluminosos, constan esencialmente de silicatos de aluminio hidratados. Existe una gran variedad de arcillas, las cuales se diferencian por la cantidad de impurezas que contengan. Los refractarios de arcilla contienen en su composición química variados porcentajes de alúmina y sílice, los cuales varían para la alúmina de 18-44 % y para la sílice de 35-80 %.

### **2.1.3. Neutros**

Estos refractarios que también se les llama anfóteros, son aquellos que no son muy básicos ni muy ácidos y que dependiendo de las condiciones, se pueden comportar como ácidos o básicos. Los refractarios neutros más comunes son los de alta alúmina, grafito y aislantes y se describen brevemente:

- Refractarios neutros de alta alúmina

Los refractarios de este grupo están constituidos principalmente por óxido de aluminio, más comúnmente conocido como alúmina en mayor proporción y óxido de silicio más conocido como sílice en menor proporción. Estos refractarios tienen como mínimo 45 % de alúmina, existiendo comercialmente productos de 50, 60, 70, 80, 90 y en algunos casos, hasta de 99 % de alúmina.

- Refractarios neutros de carbón

A los refractarios de este grupo, también se les podría llamar no-óxidos, ya que en su composición no contienen óxidos, siendo el carbón el principal constituyente. Cuando el grafito natural se encuentra ligado con arcilla, se utiliza para la fabricación de tapones y boquillas.

- Refractarios neutros aislantes

Los refractarios de este grupo se caracterizan por su gran porosidad (40-70 %) y ligero peso, teniendo una más baja conductividad térmica y capacidad para almacenar calor en comparación con otros refractarios. Son usados principalmente como revestimientos de seguridad de refractarios con más alta conductividad térmica. Existe una gran variedad de refractarios aislantes, fabricándose en forma de ladrillos, concretos, bloques, fibras, etc., mismos que se identifican y clasifican por su temperatura máxima de operación que va desde los 800 grados Celsius, hasta temperaturas por arriba de los 1 800 grados Celsius.

## 2.2. Ladrillo refractario

Desde el punto de vista físico, los materiales refractarios pueden clasificarse en conformados y no conformados; los conformados a su vez se dividen en ladrillos y piezas especiales. En esta sección se describen los diferentes tipos de ladrillo refractario.

La selección de los ladrillos refractarios en el revestimiento de las ollas de refinación es muy importante, debido a que es un intento por balancear las diferentes zonas para tener un desgaste homogéneo a lo largo de las mismas, con la finalidad de obtener el máximo rendimiento. Los materiales más comunes en la fabricación de ladrillos para revestimiento son los ladrillos de magnesita (97 % de MgO) y los de dolomita (59 % CaO, 39 % MgO) y los más usados en las ollas de refinación son los de dolomita.

Los revestimientos de dolomita funcionan con escoria básica y, gracias a su bajo potencial de oxidación, el oxígeno no se esparce en el acero, por lo tanto, el uso de los refractarios dolomíticos permite lograr las siguientes ventajas:

- Escoria básica
- Menores inclusiones no-metálicas en el acero
- La desulfuración es más eficiente
- Mejores características metalúrgicas del acero
- Reducción de costos
- El rendimiento de las aleaciones de hierro mejora
- El bloqueo de la boquilla de la colada se reduce



Es notorio que los productos refractarios de dolomita temen a la humedad. En efecto el óxido de calcio de la dolomita, si es expuesto por demasiado tiempo al aire húmedo sin alguna protección puede reaccionar con la humedad atmosférica y dañar las propiedades de los refractarios de dolomita. La velocidad de esta reacción depende de la humedad y de la temperatura del aire. A pesar de su natural sensibilidad a la humedad, los ladrillos de dolomita son usados con éxito en los revestimientos refractarios de ollas de refinación en muchas acerías del mundo, incluidas las de los países tropicales.

Los ladrillos de dolomita templados son, sin duda, el material refractario más usado en las ollas de refinación. Estos ladrillos, desde el punto de vista de su estructura interna, son un sistema de dos componentes que consiste de un material refractario, por ejemplo, dolomita quemada muerta y un aglomerante con carbón, los cuales se describen a continuación:

- Dolomita quemada muerta

Esta es sinterizada en hornos especiales a temperaturas muy altas (2 000 grados Celsius), que transforman la dolomita natural en un compuesto conformado por aproximadamente 60 % de óxido de calcio y 40 % óxido de magnesio, llamado dolomita quemada muerta, dolomita sinterizada, o doloma. En la tabla I se muestran los valores típicos de la dolomita quemada muerta de una de las plantas fabricadoras.

- El aglomerante

No es más que el adhesivo que une o aglomera el material refractario de los ladrillos. La brea, un residuo de la destilación de carbón fósil, hoy en día sigue siendo en Europa el aglomerante más usado para los ladrillos tanto de

dolomita como de magnesita, debido a que es el adhesivo más efectivo. No obstante, está aumentando la demanda en el mercado de los ladrillos de dolomita pegados con resina, más aún, el interés por nuevos aglomerantes es diferente en cada país.

Tabla I. **Ejemplo de valores típicos de la dolomita quemada muerta**

Componentes	% en la mezcla
MgO	38,59
SiO <sub>2</sub>	1,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,75
CaO	58,45
Elemento Fundente	2,56
Densidad volumétrica	3,22

Fuente: FRANCHI, Alberto. Uso de revestimientos de dolomita en los cucharones de tratamiento. p. 2.

### **2.2.1. Ladrillo para pared**

Los ladrillos para pared, se clasifican de la siguiente manera en las tablas de la II a la V.

Tabla II. **Ladrillo ácido de alúmina recto**

□ Descripción:	Ladrillo ácido de alúmina recto de 9" x 4 ½" x 2 ½".
□ Aplicación:	Ladrillo de seguridad, en las paredes de una olla de dolomita y de magnesita.
□ Duración:	Aprox. 800 coladas.
□ Datos técnicos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El polvo irrita ligeramente los ojos, la piel y membranas mucosas.</li> <li>2. Trate de evitar el contacto con la piel, utilice los lentes de seguridad y respirador, lave la piel y los ojos con abundante cantidad de agua.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Ladrillo para rampa inicial**

□ Descripción:	Ladrillo templado de dolomita para rampa inicial SU 545.
□ Aplicación:	Fabricación de las dos rampas que dan el inicio a la colocación de los ladrillos para la pared de trabajo de una olla.
□ Duración:	Aprox. 80 coladas.
□ Datos técnicos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ladrillo curvo de diferentes medidas.</li> <li>2. Preservar del agua y de la humedad del aire.</li> <li>3. No abrir antes de usarse.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Ladrillo SU 545 base dolomita**

□ Descripción:	Ladrillo templado de dolomita SU 545.
□ Aplicación:	Utilizado para la construcción del 100% de la pared de trabajo de una olla de dolomita.
□ Duración:	Aprox. 80 coladas.
□ Datos técnicos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ladrillo curvo de 8 3/8"-8"-7 5/8" x 5" x 4".</li> <li>2. Preservar del agua y de la humedad del aire.</li> <li>3. No abrir antes de usarse.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Ladrillo SU 545 base magnesita**

□ Descripción:	Ladrillo templado de magnesita SU 545.
□ Aplicación:	Se utiliza para la fabricación del 100% de la pared de trabajo de una olla de magnesita.
□ Duración:	Aprox. 60 coladas.
□ Datos técnicos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este producto contiene alquitrán de hulla o brea de petróleo.</li> <li>2. Humos y polvos irritan ligeramente los ojos, la piel y las membranas mucosas, lave la piel y los ojos con abundante cantidad de agua.</li> <li>3. Utilice los lentes de seguridad y los respiradores.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

La figura 8 muestra un ejemplo de ladrillo de magnesita para pared de trabajo de una olla de refinación.

Figura 8. **Ladrillo de magnesita para pared de trabajo**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

### 2.2.2. **Ladrillo para piso**

Los ladrillos para piso los clasificaremos de la siguiente manera en las tablas de la VI a la IX.

Tabla VI. **Ladrillo ácido de alúmina recto**

□ Descripción:	Ladrillo ácido de alúmina recto de 9" x 4 ½" x 2 ½".
□ Aplicación:	Fabricación de 2 camas de ladrillo del piso de seguridad tanto de una olla de dolomita como de magnesita.
□ Duración:	Aprox. 800 coladas.
□ Datos técnicos:	1. El polvo irrita ligeramente los ojos, la piel y membranas mucosas, trate de evitar el contacto, lave la piel y los ojos con abundante cantidad de agua. 2. Utilice los lentes de seguridad y respirador.

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Ladrillo templado de dolomita 4PO T-1**

□ Descripción:	Ladrillo templado de dolomita 4PO T-1 de 10" x 6" x 4".
□ Aplicación:	Utilizado para la fabricación del 60% del piso de trabajo de una olla, área de soporte del peso del acero líquido. Por sus propiedades mecánicas, no es muy recomendado como área de trabajo para la recepción del chorro de acero líquido.
□ Duración:	Aprox. 80 coladas.
□ Datos técnicos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ladrillo recto de 10" x 6" x 4".</li> <li>2. Preservar del agua y de la humedad del aire.</li> <li>3. No abrir antes de usarse.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Ladrillo templado de dolomita 4PO HR-27**

□ Descripción:	Ladrillo templado de dolomita 4PO HR-27 de 10" x 7 ½" x 4".
□ Aplicación:	Utilizado para la fabricación del 40% del piso de trabajo de una olla. Área de soporte de la caída del caudal de acero líquido en dicho piso. Mejores propiedades mecánicas que el 4PO T-1.
□ Duración:	Aprox. 80 coladas.
□ Datos técnicos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ladrillo recto de 10" x 7 ½" x 4".</li> <li>2. Preservar del agua y de la humedad del aire.</li> <li>3. No abrir antes de usarse.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Ladrillo templado de magnesita recto**

□ Descripción:	Ladrillo templado de magnesita recto de 9" x 6" x 3".
□ Aplicación:	Se utiliza para la elaboración completa del piso de trabajo de una olla de magnesita.
□ Duración:	Aprox. 60 coladas.
□ Datos técnicos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este producto contiene alquitrán de hulla o brea de petróleo.</li> <li>2. Humos y polvos irritan ligeramente los ojos, la piel y las membranas mucosas, lave la piel y los ojos con abundante cantidad de agua.</li> <li>3. Utilice los lentes de seguridad y los respiradores.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

La figura 9 muestra un ejemplo de ladrillo de magnesita para piso de trabajo de una olla de refinación.

Figura 9. **Ladrillo de magnesita para piso de trabajo**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

## 2.3. Cuadros

Los cuadros, son materiales refractarios conformados, es decir, son sólidos, simétricos y tienen dimensiones, a estos se les denomina con el nombre de piezas especiales y los clasificaremos de la siguiente manera:

### 2.3.1. Cuadro portatapón

En la tabla X se muestra las especificaciones de este material refractario.

Tabla X. **Cuadro portatapón**

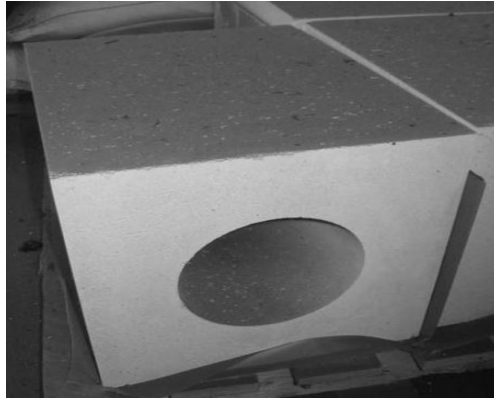
□ Descripción:	Cuadro porta-tapón poroso, material conformado de alta alúmina.
□ Aplicación:	Se utiliza como receptor del tapón poroso en una olla.
□ Duración:	Aprox. 80 coladas.
□ Datos técnicos:	1. Volumen del cuadro: $14 \frac{1}{4}'' \times 14 \frac{1}{4}'' \times 18 \frac{3}{4}''$ 2. Diámetro interno superior: $7 \frac{1}{4}''$ 3. Diámetro interno inferior: $3 \frac{1}{4}''$ 4. Peso aproximado: 170 kg.

Fuente: elaboración propia.

La figura 10 muestra un cuadro portatapón, el cual va instalado en el piso de la olla de refinación.



Figura 10. **Cuadro portatapón**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

### 2.3.2. **Cuadro portaboquillas**

En la tabla XI se muestra las especificaciones de este material refractario.

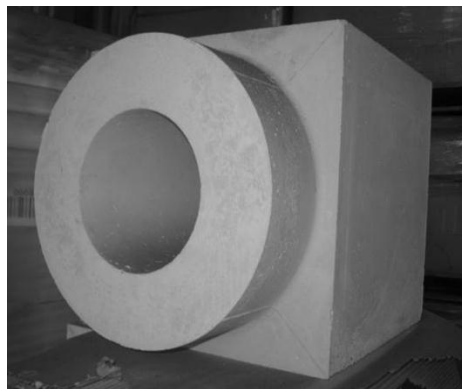
Tabla XI. **Cuadro portaboquillas**

□ Descripción:	Cuadro porta-boquillas, material conformado de alta alúmina.
□ Aplicación:	Se utiliza como receptor de las boquillas superior e inferior de la válvula deslizante de una olla.
□ Duración:	Aprox. 80 coladas.
□ Datos técnicos:	1. Volumen del cuadro: 14" x 14" x 17 ½" 2. Diámetro interno superior: 6 ½" 3. Diámetro interno inferior: 5 ¾" 4. Peso aproximado: 130 kg

Fuente: elaboración propia.

La figura 11 muestra un cuadro portaboquillas, el cual va instalado en el piso de la olla de refinación.

Figura 11. **Cuadro portaboquillas**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

#### **2.4. Tapón poroso**

El tapón poroso, también llamado cono de insuflado, es un elemento en forma de cono, fabricado de material refractario, cuya función es permitir la introducción de un gas inerte, el cual puede ser nitrógeno o argón, a presión dentro de la olla de refinación. Mediante este cono, el gas es llevado a la masa de acero fundido a través de un sistema de canales ramificados en forma de laberinto. Una técnica especial de envoltura asegura que el gas insuflado fluya a la masa de acero fundido exclusivamente a través de los canales tipo laberinto. La tabla XII muestra las especificaciones de este material refractario y la figura 12 muestra un tapón poroso, el cual va instalado en el cuadro portatapón.

Tabla XII. **Tapón poroso**

❑ Descripción:	Tapón poroso, elemento refractario permeable para aplicación de gas inerte.
❑ Aplicación:	Utilizado para la aplicación de gas inerte a presión en el fondo de la olla.
❑ Duración:	Puede durar hasta 45 coladas, dependiendo de las condiciones de operación, tanto del tapón como del cuadro porta-tapón.
❑ Datos técnicos:	1. Diámetro mayor: 180 mm 2. Diámetro menor: 75 mm 3. Largo: 370 mm

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Tapón poroso**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

## 2.5. **Boquillas**

Las boquillas, son materiales refractarios conformados, también conocidos como piezas especiales y se dividen en boquilla superior y boquilla inferior.

### 2.5.1. Boquilla superior

La función de la boquilla superior, es transportar el acero en su primera trayectoria de vaciado, formando un flujo específico en base a un diámetro de 38 milímetros. La tabla XIII muestra las especificaciones de este material refractario.

Tabla XIII. **Boquilla superior**

□ Descripción:	Boquilla superior para válvula deslizante.
□ Aplicación:	Colocada en la parte superior del cuadro porta-boquillas, es la primera que transporta el flujo de acero en el sistema de válvula deslizante de una olla.
□ Duración:	Aprox. 16 coladas.
□ Datos técnicos:	1. Alto: 150 mm 2. Diámetro externo mayor: 150 mm 3. Diámetro externo menor: 140 mm 4. Diámetro interno: 38 mm

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.2. Boquilla inferior

La función de la boquilla inferior o anillo, es transportar el acero en su segunda trayectoria de vaciado, esta boquilla es muy importante, ya que de ella depende el buen funcionamiento de las placas de la válvula, en este caso el diámetro del flujo tiene que ser relativamente más grande, para no ocasionar obstrucciones al acero que viene de la boquilla superior. El diámetro del flujo es de 38 milímetros. La tabla XIV muestra las especificaciones de este material refractario.

Tabla XIV. **Boquilla inferior**

□ Descripción:	Boquilla inferior para válvula deslizante.
□ Aplicación:	Colocada en la parte inferior del cuadro porta-boquillas, es la segunda que transporta el flujo de acero en el sistema de válvula deslizante de una olla, también se le llama anillo.
□ Duración:	Aprox. 8 coladas.
□ Datos técnicos:	1. Alto: 90 mm 2. Diámetro externo mayor: 180 mm 3. Diámetro externo menor: 150 mm 4. Diámetro interno: 38 mm

Fuente: elaboración propia.

La figura 13 muestra las dos boquillas, a la derecha la boquilla superior y a la izquierda la boquilla inferior o anillo, las cuales van instaladas en el cuadro porta-boquillas una seguida de la otra.

Figura 13. **Boquilla inferior y boquilla superior**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

## **2.6. Materiales complementarios**

Especialidades refractarias, es el nombre que se les da a los materiales refractarios sin forma determinada (materiales complementarios), y no son más que mezclas de materiales refractarios cuidadosamente seleccionados y balanceados en su tamaño de grano y agregados (aditivos), procesados y envasados generalmente en seco o con algún porcentaje de humedad, que se utilizan para la construcción y/o reparación de revestimientos monolíticos y no monolíticos.

En los últimos años, las especialidades refractarias han estado ganando gran importancia en la construcción, reparación y mantenimiento de revestimientos refractarios de equipos de procesos químicos y metalúrgicos. El éxito de su gran aceptación, está basado en los grandes ahorros en tiempo de instalación, bajo costo de mano de obra y por la gran habilidad que poseen para ser usadas en reparaciones.

Las especialidades refractarias se fabrican con las mismas materias primas que se emplean para la fabricación de los materiales refractarios con forma determinada (ladrillos y piezas especiales) y la única diferencia que existe con estos últimos, es que las especialidades son sinterizadas después que han sido instaladas, resultando revestimientos libres de juntas, con gran estabilidad de volumen y una resistencia excepcional. Las especialidades refractarias más conocidas y de mayor uso son:

- Morteros
- Concretos
- Apisonables

- Plásticos
- Proyectables

### **2.6.1. Morteros**

Los morteros son agentes refractarios ligantes, constituidos por una mezcla de compuestos refractarios finamente molidos, con agregados de otras sustancias que pueden no ser refractarias y que en estado húmedo, se utilizan para adherir ladrillos o piezas refractarias. La función principal de los morteros refractarios, es la de evitar la penetración de líquidos, humos, gases y/o polvos del medio ambiente, pero también los morteros se utilizan para uniformizar superficies y facilitar la instalación de los ladrillos.

Los morteros se clasifican e identifican por su comportamiento de fraguado, encontrándose principalmente de fraguado en caliente y de fraguado al aire, aunque también los hay de fraguado hidráulico y de fraguado químico, siendo estos últimos de poca importancia y de muy poco uso, por lo que se hará énfasis solamente en los dos primeros:

- Morteros de fraguado en caliente

Como su nombre lo indica, este tipo de morteros requieren de relativamente alta temperatura para desarrollar su liga o adherencia y dependiendo de la calidad y características de los mismos, esta liga se efectúa entre los 1 000 y 1 350 grados Celsius. Los morteros de fraguado en caliente que también se les llama de fraguado cerámico, se presentan generalmente en forma seca, a los que agregándoles la cantidad suficiente de agua hasta darle la consistencia adecuada (de acuerdo a cada aplicación), adquieren excelente trabajabilidad y fácil aplicado.

La característica principal de estos morteros, es que debido al gradiente de temperatura, solo una parte del mortero o sea la zona más caliente (cara expuesta), logra desarrollar su liga cerámica, permaneciendo el resto, inalterado. Por lo anterior, este tipo de morteros es ideal para usarse en el ensamble de una boquilla con una porta-boquilla, ya que permite el rápido cambio de la boquilla, con un mínimo de destrucción de la porta-boquilla.

- Morteros de fraguado al aire

Este tipo de morteros generalmente se presentan en forma húmeda, listos para usarse y vienen provistos con un agente químico ligante, que asegura el fraguado al simple contacto con la atmósfera. Este agente ligante, mantiene la potencia de la liga a temperaturas bajas e intermedias y aún a temperaturas por arriba de las que la liga cerámica toma lugar.

La característica principal de estos morteros, y a diferencia de los de fraguado cerámico, es que forman una unión completa y uniforme a través de todo el refractario, misma que va desde la cara caliente hasta la cara fría, resultando juntas mecánicamente más fuertes, con alta resistencia a la abrasión y a la erosión. Por lo anterior, estos morteros son ideales para usarse en aquellos lugares en donde se requiera evitar la penetración de líquidos, humos, gases y polvos a cualquier temperatura. Las tablas XV y XVI muestran las especificaciones de estos materiales refractarios.



Tabla XV. **Mortero seco de fraguado en caliente**

□ Descripción:	Mortero refractario seco de alta alúmina, fraguado en caliente.
□ Aplicación:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Se utiliza en la instalación de las boquillas superior e inferior de la válvula deslizante de una olla, como material de amarre (para pegar).</li> <li>b. Para formar una capa aislante protectora entre la placa móvil y los escudos.</li> <li>c. Para formar una capa protectora entre los escudos y los seguros del bastidor.</li> </ul>
□ Duración:	Depende de la aplicación y condiciones de trabajo.
□ Datos técnicos:	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Almacenar en lugar seco.</li> <li>2. Revolver antes de agregar agua.</li> <li>3. Mezclar hasta obtener una consistencia adecuada para su aplicación.</li> <li>4. Aplíquese sobre superficie limpia y de preferencia humedecida.</li> <li>5. Para pegar ladrillo, el óptimo espesor de la junta es de 2-3 mm.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Mortero refractario de amarre**

□ Descripción:	Mortero refractario de amarre.
□ Aplicación:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Se utiliza en la instalación del tapón poroso.</li> <li>b. En la instalación de las arandelas de presión.</li> <li>c. Para formar una capa protectora de seguridad en la tuerca que asegura el tapón poroso.</li> </ul>
□ Duración:	Depende de la aplicación y condiciones de trabajo.

Fuente: elaboración propia.

### **2.6.2. Concretos**

Estos productos están constituidos por una mezcla de materiales refractarios granulados cuidadosamente seleccionados en su tamaño, con agregados de un cemento resistente al calor, que asegura el fraguado hidráulico al mezclarse con agua a temperatura ambiente. La forma tradicional para aplicar los concretos es en forma de vaciado y compactados con un vibrador sumergido, similar al tratamiento de un concreto de construcción ordinario, aunque también pueden aplicarse como apisonado y pistoleado.

Para aplicar concretos refractarios de fraguado hidráulico en la forma tradicional o sea vaciados, es necesario observar y seguir estrictas normas, para obtener el máximo rendimiento del producto. Existe literatura proporcionada por cada proveedor, con instrucciones individuales para cada producto, mismas que en forma específica se proporciona en el envase del mismo. Las tablas XVII y XVIII muestran las especificaciones de estos materiales refractarios.

Tabla XVII. **Concreto denso de alúmina magnesita**

□ Descripción:	Concreto denso de alúmina magnesita.
□ Aplicación:	Se utiliza en la reparación de los cuadros porta-tapón poroso y porta-boquillas.
□ Duración:	Promedio 15 coladas.
□ Datos técnicos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Antes de abrir girar la bolsa varias veces para homogeneizar su contenido.</li> <li>2. La zona de preparación del concreto debe estar limpia.</li> <li>3. Use agua limpia y fresca y en la cantidad recomendada por el fabricante. Agregue el agua lentamente para obtener la consistencia apropiada.</li> <li>4. No prepare cantidades de concreto que no pueda utilizar de inmediato.</li> <li>5. El curado debe hacerse por 24 horas evitando temperaturas extremas.</li> <li>6. Caliente lentamente la primera vez.</li> <li>7. No flamable, polvo cristalino, bajo riesgo por inhalación, evite el contacto con los ojos.</li> <li>8. Consérvese en lugar seco y bajo techo.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Concreto con fibra de acero**

□ Descripción:	Concreto refractario con fibra de acero.
□ Aplicación:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Se aplica en toda la periferia superior de una olla como material de amarre, con el objeto de realizar presión entre la pestaña sujetadora de ladrillos y la pared de trabajo en una olla y así evitar la caída de los ladrillos.</li> <li>b. Reparar, formando una capa protectora en la superficie de la boquilla de rebalse de escoria en una olla.</li> <li>c. Elaboración de las tapaderas de las ollas.</li> </ul>
□ Duración:	Depende de la aplicación y de las condiciones de trabajo.
□ Datos técnicos:	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Almacenar en lugar seco.</li> <li>2. Revuélvase antes de usar agua.</li> <li>3. Para colado agregar de 2,5 a 2,75 lt de agua por saco, utilizando agua tibia en caso de temperaturas menores a 25 °C.</li> <li>4. Una vez terminada la aplicación, esperar a los primeros indicios de fraguado y proceda al curado cubriendo la obra con sacos húmedos.</li> <li>5. El secado y calentamiento debe ser lento y gradual, especialmente cuando la temperatura ambiente es menor a 25 °C.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

### 2.6.3. Apisonables

Los apisonables son una mezcla íntima y en proporciones cuidadosamente determinadas de materiales refractarios en estado natural o calcinados, con o sin otros ingredientes, que mezclados y amasados con agua adquieren plasticidad para moldearse, formando estructuras monolíticas de una

dureza excepcional al endurecer al simple secado con el aire o bien al aplicarles temperatura.

Los apisonables se presentan en estado húmedo listos para usarse y en estado seco a los que es necesario agregar agua, hasta que adquiera consistencia y trabajabilidad. Las tablas de la XIX a la XXIII muestran las especificaciones de estos materiales refractarios.

Tabla XIX. **Mezcla plástica dolomítica para apisonar**

□ Descripción:	Mezcla plástica dolomítica para apisonar.
□ Aplicación:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Se aplica alrededor de los cuadros para tapón poroso y boquillas como material de relleno apisonable.</li> <li>b. También se coloca en forma de media caña en toda la periferia del piso de trabajo de una olla de dolomita, para evitar filtraciones de acero.</li> <li>c. Como material de relleno entre la pared de seguridad y la periferia del piso de trabajo.</li> </ul>
□ Duración:	Depende de la aplicación y condiciones de trabajo.
□ Datos técnicos:	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Apisonado mecánico y manual.</li> <li>2. Calentar antes de usarlo.</li> <li>3. No se use con agua.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Masa de granulometría muy fina para apisonar**

□ Descripción:	Masa refractaria con granulometría muy fina.
□ Aplicación:	Sirve para llenar fisuras que se producen entre los ladrillos de las paredes y piso de trabajo de las ollas.
□ Duración:	Depende de la aplicación y condiciones de trabajo.
□ Datos técnicos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Masa lista para el empleo.</li> <li>2. Preservar del agua y de la humedad del aire.</li> <li>3. No abrir antes de usarse.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Masa de granulometría fina para apisonar**

□ Descripción:	Masa refractaria con granulometría fina.
□ Aplicación:	Se utiliza para nivelar la superficie en la cual se coloca la rampa de ladrillos de la pared de trabajo de una olla.
□ Duración:	Depende de la aplicación y condiciones de trabajo.
□ Datos técnicos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Masa lista para el empleo.</li> <li>2. Preservar del agua y de la humedad del aire.</li> <li>3. No abrir antes de usarse.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Masa dolomítica de relleno para apisonar**

□ Descripción:	Masa dolomítica de relleno para apisonar.
□ Aplicación:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Se aplica como una capa niveladora de relleno entre el piso de seguridad y el piso de trabajo</li> <li>b. Se aplica entre la pared de seguridad y la pared de trabajo, ambas aplicaciones para ladrillos dolomíticos de ollas.</li> </ul>
□ Duración:	Depende de la aplicación y condiciones de trabajo.
□ Datos técnicos:	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Masa lista para el empleo.</li> <li>2. Preservar del agua y de la humedad del aire.</li> <li>3. No abrir antes de usarse.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Material apisonable de magnesita**

□ Descripción:	Material apisonable de magnesita.
□ Aplicación:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Se aplica como material de nivelación entre el piso de seguridad y el de trabajo en una olla de magnesita.</li> <li>b. Se aplica como material de respaldo entre la pared de seguridad y la de trabajo en una olla de magnesita.</li> <li>c. Se utiliza para la elaboración de la media caña de la periferia del piso de trabajo en una olla de magnesita.</li> </ul>
□ Duración:	Depende de la aplicación y de las condiciones de trabajo.
□ Datos técnicos:	Almacenar en lugar bajo techo y seco.

Fuente: elaboración propia.

La figura 14 muestra algunos materiales complementarios utilizados en las diferentes aplicaciones de las ollas de refinación.

Figura 14. **Materiales complementarios**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Otros materiales complementarios que no son muy comunes son:

- Plásticos

Los plásticos son productos constituidos esencialmente por una mezcla íntima y en proporciones determinadas de materiales refractarios en estado natural o calcinados, con o sin otras sustancias, que mezclados y amasados con agua adquieren plasticidad para ser moldeados, formando estructuras monolíticas con capacidad de endurecer y mantener sus características físicas desde bajas temperaturas (110 grados Celsius) hasta las de uso. Generalmente los plásticos se presentan de fraguado al aire, aunque existen algunos tipos de fraguado cerámico.



La principal diferencia entre los plásticos y los apisonables es su contenido de humedad y por consiguiente su trabajabilidad. Para aplicar los plásticos se pueden emplear herramientas manuales, pero preferentemente se deben usar herramientas neumáticas.

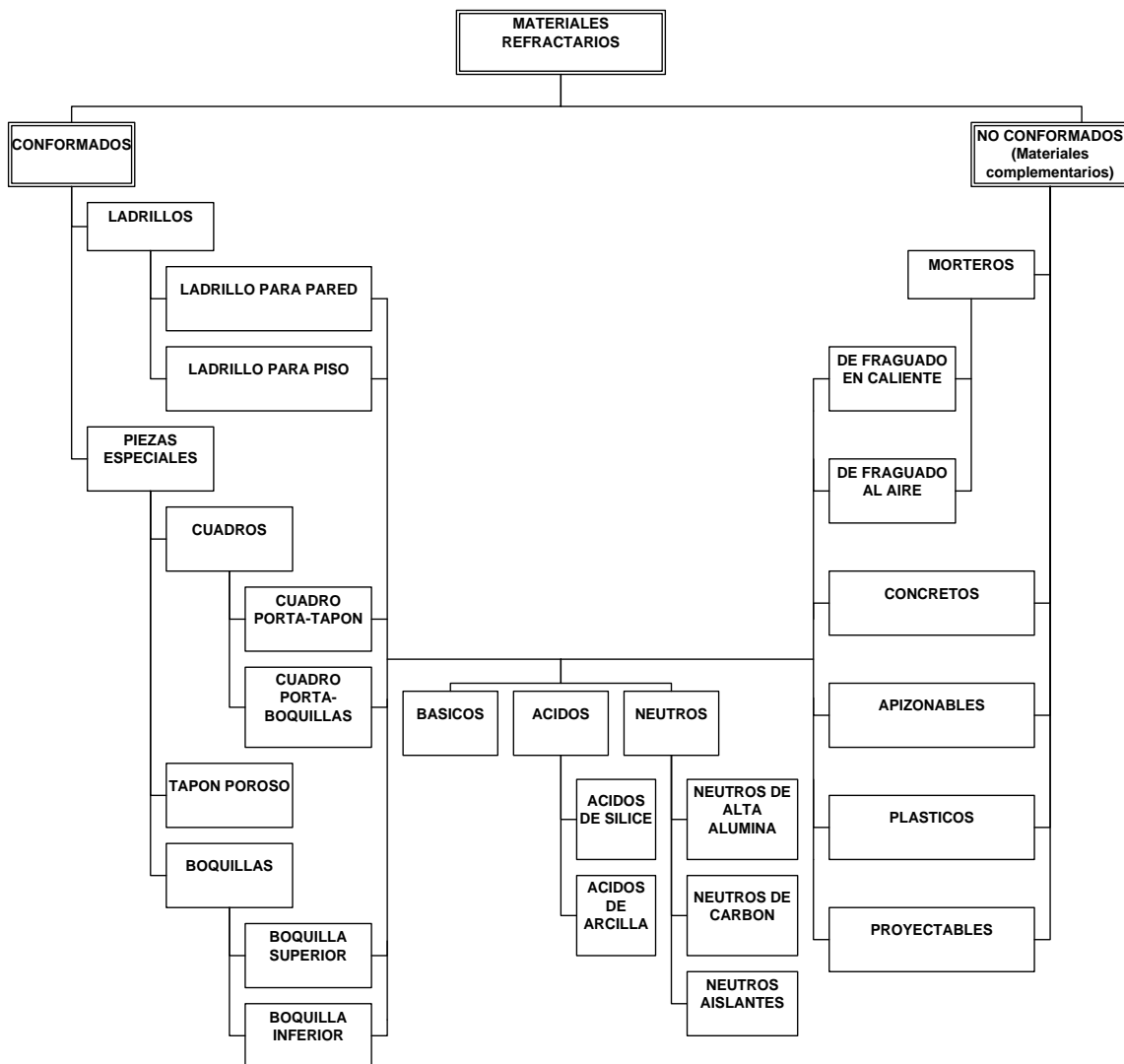
- **Proyectables**

Son aquellos materiales refractarios cuidadosamente elaborados y balanceados en cuanto a su tamaño de grano, que contienen agregados que le dan una alta adherencia, diseñados especialmente para aplicarse con máquina de proyección y que se utilizan para revestir y/o reparar aquellos equipos con las más intrincadas configuraciones, en áreas inaccesibles para aplicar refractarios por medio de otros métodos o simplemente como parte de programas de mantenimiento de equipos refractarios principalmente en caliente.

## 2.7. Diagrama de materiales refractarios

La tipificación de los materiales refractarios se describe mejor en la figura 15.

Figura 15. Diagrama de materiales refractarios



Fuente: elaboración propia, con base a información proporcionada en Siderúrgica de Guatemala.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

En este capítulo, se centra la atención en la descripción de cada uno de los equipos que intervienen en la operación y mantenimiento de una olla de refinación, esto es, una breve definición de cada uno, sus partes y su funcionamiento.

#### 3.1. Olla

Una olla es un recipiente fabricado de acero, con una altura aproximada de 3,3 metros, un diámetro superior de 2,8 metros, un diámetro inferior de 2,7 metros y un espesor de 25,4 milímetros, estas son variables tanto en su capacidad como en su diseño, y van desde formas elípticas hasta circulares, teniendo un diámetro menor en el fondo el cual permite que sean desprendidos más fácilmente los materiales (escoria, acero) que se forman al enfriarse después del servicio, está recubierta de materiales refractarios en todo su interior. En la figura 16 se muestra una olla de refinación.

El uso más frecuente de este equipo, es como auxiliar de la MCC y el *EAF*, se usa para realizar el afino y el ajuste de las coladas, también se usa para lograr aceros extra limpios y de muy bajo azufre, todo esto, cuando se combina con una bóveda y un sistema de arco eléctrico, para formar lo que conocemos como *LF*.

Una olla de refinación, puede ser usada como calentador de coladas que se han enfriado en la MCC o que por problemas en la misma, se regresan por imposibilidad de seguir colando.

Figura 16. **Olla de refinación**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

La metalurgia que se lleva a cabo en esta olla de refinación es la siguiente:

- Homogenizar temperaturas
- Homogenizar aleaciones adicionales
- Desgasificación parcial
- Desulfuración
- Mejoramiento de la pureza del acero

### **3.1.1. Válvula Flo-con**

La válvula Flo-con, también conocida como válvula deslizante, es el equipo más importante que compone una olla de refinación, está integrado por un sistema de partes mecánico-hidráulicas y su funcionamiento básico es el de abrir y cerrar el paso del acero líquido a la hora de vaciar este en la máquina de colada continua. Se compone de las siguientes partes:

- Placa de montaje
- Bastidor
- Carro
- Tapa del carro
- Tapa del bastidor
- Escudos protectores
- Bisagras y candados
- Barra conectora
- Resortes
- Placa fija
- Placa móvil

Esta válvula ofrece ciertas ventajas para el fabricante de acero, entre las cuales se encuentran:

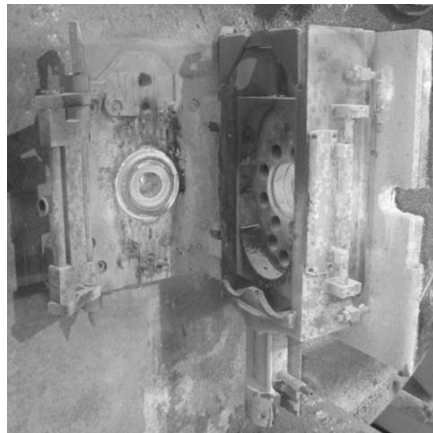
- Mayor control de la velocidad de flujo del acero que sale de la olla.
- Velocidades más constantes de vaciado.
- Chorro de vaciado más uniforme para obtener acero de mejor calidad.
- Aumento del tiempo de retención en la olla.
- Temperaturas más elevadas de precalentamiento de la olla sin riesgos de dañar la válvula deslizante.
- Preparación más fácil y segura de la olla ya que todo el trabajo se realiza desde el exterior de la válvula.

Debido a que las ollas precalentadas facilitan las aperturas, la válvula está diseñada de tal manera que pueda operar eficientemente bajo las condiciones de precalentamiento de la olla. Si se emplea un pre calentador del tipo horizontal, se puede realizar el acondicionamiento de la válvula justo en la

etapa de precalentamiento para reducir el tiempo de empleo de la grúa y obtener una más eficiente utilización de la cuchara.

Las válvulas Flo-con emplean resortes de acero, altamente aleados, enfriados por aire para poder mantener una presión de sello constante sobre la superficie de la placa refractaria deslizante. Estos resortes son fáciles de instalar, mantener, y poseen larga durabilidad (hasta 2 000 coladas). Estos resortes proporcionan la máxima presión uniforme posible que se puede obtener en la actualidad. En la figura 17 se muestra una válvula Flo-con instalada en la parte inferior de una olla de refinación.

Figura 17. **Válvula Flo-con**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Existen cinco modelos estándar de válvulas deslizantes Flo-con para ollas, así como también varios modelos especiales para cumplir con las exigencias de cualquier instalación en particular.

Flo-con ofrece una amplia selección de materiales refractarios tanto estándar como a especificación, adecuados a las necesidades del usuario. Para algunas aplicaciones especiales, se puede aumentar además el diámetro de estos modelos.

La selección del modelo depende de la velocidad máxima de vaciado, tipo o calidad de metal, tamaño de colada y otros factores que puedan afectar los requisitos del flujo. El modelo de válvula utilizado en Siderúrgica de Guatemala, se puede observar en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. **Características de válvula Flo-con**

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN / VALOR
Modelo	3150
Recorrido	76 mm
Diámetro de barreno	19 a 38 mm
Velocidad máxima teórica de vaciado	79 t cortas/hora
Velocidad mínima teórica de vaciado	20 t cortas/hora (para una altura de 30,5 cm)

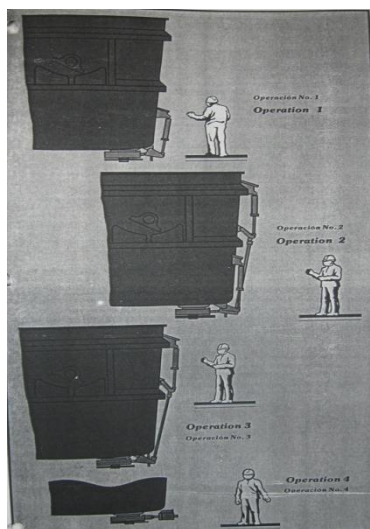
Fuente: Flo-con *Systems*. Manual general Flo-con para ollas. p. 6.

Las válvulas Flo-con para ollas se encuentran disponibles con diseños de accionamiento estándar o de acuerdo a las especificaciones del usuario y cumplen con todas las necesidades operacionales de la producción de acero. Los cuatro diseños de operación más comunes son:

- Operación 1: palanca acodillada y cilindro de montaje bajo, para plataforma baja.
- Operación 2: combinación de contra manivela y montaje bajo, para plataforma alta y baja de vaciado.
- Operación 3: aparejos de contra manivela y palanca acodillada para plataforma alta de vaciado.
- Operación 4: cilindro de conexión directa para plataformas bajas de vaciado.

Este último, denominado operación 4, es el que se utiliza en Siderúrgica de Guatemala y se puede apreciar en la parte inferior de la figura 18.

Figura 18. **Diseños de operación más comunes de válvula Flo-con**



Fuente: Flo-con Systems. Manual general Flo-con para ollas. p. 7.



### 3.1.2. Mecanismo para instalación de tapón poroso

Este mecanismo, no es más que un conjunto de herramientas y elementos de máquina, cuya función es la de fijar o instalar de forma segura el tapón poroso a la parte inferior de la olla de refinación, ver figura 19. Está compuesto de las siguientes partes:

- Placa de fijación
- Arandelas de fijación
- Tuerca de fijación
- Llave de golpe para apriete de tuerca
- Tubería para insuflado de gas inerte
- Conectores de tubería

Figura 19. Mecanismo para instalación de tapón poroso



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

## **3.2. Quemadores**

Un quemador es una estructura formada por diferentes elementos de máquina y sistemas electro-mecánicos, cuya función es transmitir energía calorífica a los materiales refractarios de la olla de refinación, empleando para ello combustible diesel.

### **3.2.1. Quemador vertical**

El sistema mecánico está compuesto por tres partes fundamentales, columna, brazo de giro y campana porta-quemador.

- **Columna**

Es el elemento por el cual el equipo se ancla al suelo de la nave, su forma puede ser cilíndrica o cuadrada dependiendo del material con el que está construida, el cual puede ser en chapa de acero o concreto.

- **Brazo de giro**

Une la campana con la columna y permite el movimiento de giro vertical característico de este equipo, a su vez sirve como salida de humos de la combustión y recuperador de calor.

- **Campana porta-quemador**

Es abatible verticalmente. Construida en acero y recubierta de material refractario, como su nombre lo indica, es el elemento que contiene el quemador.

El giro vertical del brazo se realiza mediante la acción de un cilindro hidráulico. La combustión se lleva a cabo mediante un quemador de mezcla en cabeza y llama radiante que opera con diesel. La regulación de temperatura es programable mediante curvas de calentamiento acordes con el proceso y los materiales utilizados. La figura 20 muestra un quemador vertical con quemador de diesel.

Figura 20. **Quemador vertical**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

### **3.2.2. Quemador horizontal**

La máquina está constituida por un carro con desplazamiento sobre un bastidor de rodadura, encima del cual está montado con apropiados soportes metálicos un escudo móvil con el quemador. La superficie de escudo expuesta a radiación térmica esta revestida de material refractario aislante. El movimiento de traslación frontal de casi 500 milímetros esta obtenido con un pistón neumático anclado en la estructura fija de la base.

La instalación de combustión está constituida por un quemador principal con elevada velocidad de los gases de combustión que alcanzan el fondo de la olla de refinación y suben a lo largo de los lados, efectuando un adecuado intercambio térmico. La figura 21 muestra un quemador horizontal con quemador de diesel.

Figura 21. **Quemador horizontal**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Algunas características generales de este quemador se exponen en la tabla XXV.

Tabla XXV. **Características generales del quemador horizontal**

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN / VALOR
Combustible	diesel
Poder calorífico	10 000 kcal/kg
Presión de red combustible	1 bar
Presión de ejercicio del quemador	50 000 Pa
Potencialidad térmica total	Máx. 1 400 kcal/hr
Tipo de quemadores	HAUCK – 784 P
Consumo máximo de combustible	150 kg/hr
Potencia instalada del ventilador	15 HP
Traslación frontal del carro	neumática
Carrera del carro	500 mm
Alimentación eléctrica	440 V – 60 Hz
Tensión auxiliar	115 V – 60 Hz
Regulación de temperatura	manual

Fuente: Ceba s.r.l. Estación calentado cuchara horizontal. p.2.



## 4. OPERACIÓN DE UNA OLLA

Este capítulo trata sobre la operación propiamente de una olla de refinación, es decir, sobre cómo desarrollar los procesos que se suscitan desde el momento en que la olla comienza su función dentro de la acería, sobre qué medidas hay que tomar para evitar el desgaste de los materiales refractarios que componen dicha olla y así alargar su vida útil, y principalmente, sobre como tomar las medidas necesarias para prevenir el desgaste completo de estos materiales, lo cual podría ocasionar la perforación de la olla de refinación, trayendo consigo, consecuencias catastróficas.

Dado que las ollas de refinación son el equipo principal en la metalurgia secundaria, en este capítulo, solo se tratan los puntos operativos relacionados con el material refractario y el equipo de dichas ollas, no así, el proceso detallado de cómo refinar acero por medio de metalurgia secundaria, u horno olla.

### 4.1. Vaciado de acero en olla

La operación de vaciado consiste básicamente en el traslado del acero líquido contenido en el *EAF* a la olla de refinación, por medio de un sistema de *EBT* que permite la evacuación del acero líquido por debajo del horno mediante la apertura de una válvula deslizante. Durante esta operación, se le confieren ciertas características físicas y químicas al acero, las cuales influyen directamente en el desgaste y la vida útil de los materiales refractarios de la olla de refinación. En esta operación, debe considerarse lo siguiente:

- Tiempo de vaciado

El tiempo de vaciado depende básicamente de la calidad de acero que se esté fabricando, dicho tiempo está en función del diámetro del *EBT*, inversamente proporcional a este. Mientras menor sea dicho diámetro, mayor será el tiempo de vaciado y menor será la cantidad de escoria oxidada que pase a la olla al regresar el horno; lo cual es beneficioso para el ladrillo refractario de las paredes de la olla. Mientras mayor sea el diámetro, menor será el tiempo de vaciado y mayor será la cantidad de escoria oxidada que pase a la olla al regresar el horno, traduciéndose esto en desgaste del ladrillo refractario.

Por todo lo anterior, es aconsejable que el tiempo de colado no sea menor de 2 minutos y tampoco mayor de 6 minutos, o dicho de otra forma, cuando la cantidad de escoria que pasa del horno a la olla es demasiada, es necesario reparar el *EBT*, lo cual significa reducir su diámetro, aumentando con esto, el tiempo de vaciado. El objetivo principal, es no dejar pasar demasiada escoria, ya que esta escoria oxidada, ataca seriamente el ladrillo de la pared de la olla.

- Dirección del chorro

El chorro de acero líquido debe caer casi al centro del piso de la olla (zona de impacto), para evitar que este pegue en la pared con riesgo de desgastar el ladrillo en dicha zona. Lo anterior depende básicamente de dos cosas:

- El estacionado de la olla debajo del horno debe estar siempre bien calibrado, esto quiere decir, que la olla debe estacionar siempre en el mismo lugar, ni más adentro ni más afuera de la posición de vaciado.



- El *end-brick* debe estar en buen estado para no distorsionar el chorro de acero y evitar así el contacto con el ladrillo de la pared de la olla.
- Temperatura de vaciado

Esta depende directamente del tipo de acero que se esté fabricando. Lo importante, es conocer la pérdida de temperatura para cada tipo de acero al momento de vaciar.

Mediante la práctica, es aconsejable que la primera temperatura tomada en el *LF* sea lo más cercana a 1 580 grados Celsius, mientras menor a este parámetro se encuentre dicha temperatura, mayor será el tiempo que se tendrá conectado el horno y mayor será el desgaste del ladrillo provocado por la radiación del arco eléctrico. Mientras mayor a este parámetro se encuentre dicha temperatura, menor es la efectividad en cuanto al desarrollo de las reacciones químicas necesarias para reducir la escoria, pasando más tiempo escoria oxidada en contacto con los ladrillos refractarios y por ende desgastando los mismos.

- Adición de ferroaleaciones

Para lograr una buena homogenización de los elementos que se agregan a la olla en forma de ferroaleaciones, estas deben agregarse a un nivel bajo de acero en la olla. El tamaño de las ferroaleaciones no deberá ser mayor de 4 pulgadas para que la dilución de estas sea rápida.

El objetivo de estas ferroaleaciones, es acercarse a los parámetros analíticos los porcentajes de Mn y Si del acero, con el objeto de acondicionar la escoria a un ambiente reductor y de esta forma conseguir de manera más rápida y

efectiva, la reducción de dicha escoria, lo cual repercute, en el menor contacto entre escoria oxidada y ladrillo refractario.

- Cantidad de acero vaciado den la olla

La olla no debe llevar ni más ni menos acero, ya que en cualquiera de los dos casos, el nivel de escoria no coincide con el nivel de la fila de ladrillos destinada para esta escoria (línea de escoria), provocando por supuesto el desgaste prematuro del ladrillo refractario. En la figura 22 se muestra el vaciado de acero líquido en una olla de refinación.

Figura 22. **Vaciado de acero líquido en olla de refinación**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

#### **4.2. Residencia en horno de refinación**

El uso de los hornos olla, ha llevado a la necesidad de fabricar materiales refractarios de mejor calidad para poder hacer frente a los requerimientos más severos de operación como esfuerzos mecánicos a alta temperatura, mayores tiempos de permanencia del acero en las ollas, técnicas de desulfuración y

adición de aleaciones, dichos requerimientos, si no son controlados, pueden afectar severamente la vida útil de los materiales refractarios de una olla de refinación, para esto, es necesario hacer uso de técnicas específicas para cuidar dichos materiales, entre las que podemos encontrar las siguientes:

- Desoxidación

Uno de los objetivos principales para fabricar aceros de buena calidad es lograr una limpieza óptima de los mismos, para lo cual es necesario la formación de escorias las cuales tengan las propiedades de extraer las impurezas que el acero contenga, entre las cuales se puede mencionar el oxígeno, azufre, fosforo, plomo, entre otros.

Por lo tanto, debido a que en el horno *EAF* se produce escoria con alto porcentaje de oxígeno, es necesario llevar a cabo un proceso de reducción o desoxidación de dicha escoria. Ya que el oxígeno se presenta en forma de óxidos ( $\text{FeO}$  y  $\text{MnO}$  principalmente), es necesario agregar a la mezcla elementos ávidos de oxígeno, los cuales al reaccionar provocaran la exclusión de dicho oxígeno de la mezcla. Entre estos elementos se puede mencionar el ferro silicio, aluminio, carbón y compuestos sintéticos que unan los tres elementos anteriores.

- Desulfuración

Otro de los requisitos básicos para obtener aceros de buena calidad, es lograr análisis con bajos porcentajes de azufre, ya que como se mencionó anteriormente, el azufre es uno de los elementos indeseables que causan defectos en el acero sólido.

- Manejo de escorias

La formación de escoria en las ollas, depende básicamente de la cantidad de esta que pase del horno *EAF* en el vaciado. Por lo tanto, de esto va a depender la cantidad de material que se usará en el proceso de refinación. A mucha escoria oxidada, son necesarias grandes cantidades de material, ya que primero hay que acomodar o neutralizar dicha escoria y luego hay que desoxidarla. A poca escoria oxidada, solamente hay que desoxidarla y luego formar otra cantidad que compensara la existente, por lo tanto es necesario menos cantidad de material. Por lo tanto, el interés está en conocer como formar escorias desoxidadas o reductoras.

- Formación de la escoria reductora básica

Esta escoria se caracteriza por poseer la habilidad de disminuir el contenido de oxígeno en la escoria (presente en forma de óxidos) y en el baño de acero, mediante la utilización de materiales básicos como lo son el óxido de calcio y el óxido de magnesio. La formación de escoria reductora, está en función del porcentaje de azufre a bajar (0,070 – 0,020 %), esto quiere decir que mientras no tengamos un nivel bajo en el porcentaje de azufre, no será posible la formación de una escoria reductora.

- Identificación de la escoria reductora básica

La escoria reductora que se fabrica en Siderúrgica de Guatemala, es una escoria de carburo y las características que la identifican son las siguientes:

- Color gris claro
  - Una cantidad mínima de carbono sin combinar, esto es, pequeños granos e carbón incrustados en la escoria.
  - Pulverización de la escoria al enfriarse
  - Desprendimiento del olor característico a acetileno cuando se mezcla con agua.
- Tipos de escoria en el proceso de refinación

La escoria en el acero, se presenta en forma de óxidos, siendo los principales los mostrados en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Tipos de óxidos presentes en la escoria**

Óxidos refractarios		Óxidos fundentes	
Óxido de calcio	CaO	Óxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Óxido de magnesio	MgO	Óxido de silicio	SiO <sub>2</sub>
		Óxido de hierro	FeO
		Óxido de manganeso	MnO

Fuente: Baker Refractories. Introducción a las escorias para fabricación de acero. p. 35.

La escoria en el acero cumple varias funciones y en este caso nos interesa la de proteger el material refractario de las ollas. Para lograr una mejor comprensión de las escorias requeridas en el proceso de refinación, se tiene la siguiente clasificación:

- Escoria dura
  - Demasiado óxido de calcio y/o óxido de magnesio
  - En el balance de óxidos, se observa más cantidad de óxidos refractarios que de óxidos fundentes.
  - Escoria óptima para desgasificación
  - Esta escoria minimiza la formación de espuma, por lo tanto no hay protección de arco eléctrico, lo cual afecta el ladrillo de la pared de la olla.
  - Obstaculiza la toma de muestra de escoria
  
- Escoria espumosa o esponjosa
  - Saturada de óxido de calcio y/o óxido de magnesio
  - Óptima para proteger el arco eléctrico, rodeándolo y evitando así la radiación del mismo hacia las paredes de la olla, aprovechándose al máximo la energía generada para el baño de acero.
  - Óptima para la protección del refractario, ya que ocasiona el desplazamiento radial hacia el perímetro de la olla, provocando así la adherencia de dicha escoria a las paredes de la olla, aumentando su espesor.
  - No ideal para desulfuración

- Escoria cremosa

Esta es la escoria ideal para la fabricación de acero, por lo tanto es la escoria que se persigue conseguir en el proceso de refinación.

- Apenas saturada de óxido de calcio y/o óxido de magnesio
- En el balance de óxidos se observa igual cantidad de óxidos refractarios y de óxidos fundentes.
- Óptima para protección del refractario
- Óptima para protección del arco eléctrico
- Ideal para desulfuración
- Óptima para refinación de acero
- Ideal para toma de muestra de escoria
- Alta fluidez, sin convertirse en líquida

- Escoria líquida o acuosa

- Bajo contenido de óxido de calcio y/o óxido de magnesio
- En el balance de óxidos se observa más cantidad de óxidos fundentes que de óxidos refractarios.
- Agresiva para el refractario
- Alto contenido de óxido de hierro y óxido de manganeso
- Ideal para protección del arco eléctrico

Una forma de cómo saber si la escoria seleccionada es la más adecuada para desoxidar el acero, es comparando el color de la misma, con el porcentaje de óxido de hierro. La tabla XXVII muestra cómo usar el color de la escoria, para conocer el estado de oxidación de la misma.

Tabla XXVII. **Uso del color de la escoria como indicador del estado de oxidación**

Estado de la escoria	Color de la escoria	% de FeO
Oxidada	Negro brillante	30-25%
En proceso de desoxidación	Gris oscuro	25-20%
Desoxidada en un 50%	Gris claro (escoria de carburo)	20-15%
Desoxidada en un 65%	Café oscuro	15-10%
Desoxidada	Café claro	10-05%
Desoxidada	Blanco gris	05-03%
Desoxidada	Blanco café	03-02%
Completamente desoxidada	Blanco	02-0,5%
Totalmente desoxidada	Blanco azulosa	0,5-0,0%

Fuente: elaboración propia.

El método anterior es completamente empírico, pero puede dar una idea bastante indicativa, de las condiciones de oxidación de las escorias con las que estamos trabajando.

De la tabla anterior se puede concluir que una escoria totalmente desoxidada no necesariamente es la mejor escoria para un acero, ya que según esta tabla, dicha escoria blanco azulosa contiene de 0,5-0,0 % de óxido de hierro, lo cual indica que con estos límites, es imposible fabricar escorias de baja viscosidad, las cuales como ya se mencionó son las óptimas para la fabricación de acero.



Entonces, lo más aconsejable es hacer un balance y estimar sobre la base de una escoria cremosa, el porcentaje de óxido de hierro que se puede manejar. Un ejemplo podría ser fabricar una escoria de color blanco gris (5-3 % de FeO) ya que dicho porcentaje es aceptable para mantener una escoria apenas saturada de óxido de calcio y/o óxido de magnesio (escoria cremosa) y de esta forma lograr una escoria ideal desde todos los puntos de vista.

En base a todo lo anterior, se puede mencionar las siguientes consideraciones importantes:

- Como regla general una escoria es más activa mientras más fluida sea (menos viscosa).
- Para aumentar la fluidez de la escoria, es necesario adicionar espato flúor, este no influye en la basicidad, por lo que es posible obtener una escoria con fluidez suficiente para reaccionar en una forma efectiva. Tomando en cuenta que el espato flúor daña la línea de escoria del refractario, es importante considerar agregarlo en cantidades moderadas.
- Una escoria fluida, es una escoria con bajo punto de fusión.
- La baja viscosidad de la escoria es esencial e importante para que esta y el acero se mezclen íntimamente, acelerando así las reacciones químicas.

El desgaste de refractario básico por el ataque químico de la escoria, depende del control que se tenga del óxido de magnesio de dicha escoria. Por lo tanto, mientras el contenido de óxido de magnesio se mantenga cerca de los niveles de saturación, la escoria tendrá menos capacidad para disolver óxido de magnesio del ladrillo refractario. Entonces, cuando se llega al nivel de saturación, es cuando no solo se logra el balance de elementos, sino también se deposita una capa de óxido de magnesio sobre el refractario, creando así la protección requerida.

### 4.3. Desgaste de material refractario

A continuación conoceremos a detalle los factores que provocan excesivo desgaste en el material refractario de una olla de refinación y que por consiguiente, afectan la vida de dicha olla:

- Tipo de acero

No hay duda alguna que existen aceros más agresivos que otros a los materiales refractarios ya sea por:

- Su composición química
- Su temperatura de *líquidus*
- Forma de fabricarse
- Tiempo necesario de tratamiento
- Viscosidad
- Necesidad de mayor agitación

- Tipo de escoria

La corrosión química por la escoria es el factor que más contribuye al desgaste de las ollas para metalurgia secundaria, y de la composición química de la misma dependerá un mayor o menor desgaste al refractario, por lo anterior, vamos a analizar los óxidos que componen dicha escoria:

- El CaO es el mayor constituyente de las escorias reductoras de la olla. Óxido estable que entra fácilmente en solución con otros óxidos.
- El Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> actúa como un medio para formar aluminatos de calcio en escorias básicas los cuales reaccionan con los granos de MgO de los

ladrillos de las ollas para formar líquidos y reducir la calidad del ladrillo.

- El  $\text{SiO}_2$  es un elemento indeseable en la escoria metalúrgicamente hablando e indirectamente también para el refractario ya que a mayor cantidad de  $\text{SiO}_2$ , la relación  $\text{CaO} / \text{SiO}_2$  disminuye, aumentando la erosión en materiales básicos al incrementarse el nivel de  $\text{MgO}$  en solución.
  - El  $\text{CaF}_2$  ayuda a la fluidez de la escoria, sin embargo, a niveles de 4-5 % incrementa la erosión del refractario de la olla.
  - El  $\text{FeO}$  en niveles elevados, promueven la oxidación del carbón en algunos refractarios, resultando en un incremento en la cantidad de reacción y penetración de la escoria en ladrillos de ollas básicas.
  - El  $\text{MgO}$  tiene limitada solubilidad en escorias reductoras. Un 5% presente es recomendado para reducir el desgaste del refractario.
- Alto contenido de oxígeno al salir del horno eléctrico por:
    - Bajos valores de carbón
    - Altas temperaturas
    - Alto volumen de escoria oxidada
    - Por no agregar elementos ávidos de oxígeno antes de vaciar

Todos los anteriores son desgastes químicos.

- Pasaje de escoria de fusión altamente oxidada del horno eléctrico a la olla. Este es desgaste químico que dificulta noblemente la desulfuración.

- Bajas temperaturas del acero a la llegada al *LF* que obligan a trabajar con mayor potencia y normalmente con un arco largo para evitar la re carburación del acero. Desgaste térmico.
- Bajo volumen de escoria. Desgaste térmico y mecánico, dificultad de desulfuración.
- Escoria densa y poco reactiva. Desgaste térmico y mecánico, dificultad de desulfuración.
- Alta agitación con gas inerte. Desgaste mecánico por erosión.
- Incremento en el tiempo de residencia del acero líquido en la olla.
- Uso de escorias fluidas, las cuales en operación alcanzan temperaturas de 110 grados Celsius arriba de la temperatura del baño, durante la metalurgia en la olla.
- Efecto del arco de los electrodos, ya sea por mala alineación de los mismos, o por grandes ciclos de funcionamiento.
- Falta de continuidad en la operación debido a reparaciones frecuentes de los componentes de vaciado y agitación de la olla

La parte de la pared de ladrillo de una olla de refinación que sufre mayor desgaste en el proceso de horno olla, es la llamada línea de escoria, por lo que la composición de la misma influye en la selección de los materiales refractarios a ser usados. Aunque por lo general se trata de tener una escoria lo más semejante o compatible al material refractario, con el objeto de minimizar el

ataque hacia el revestimiento de trabajo y evitar una penetración de escoria hacia la estructura del ladrillo. En la figura 23 se observa la línea de escoria en una olla, y el desgaste producido por los diferentes factores.

Figura 23. **Desgaste en línea de escoria de una olla**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

- Mecanismo de desgaste para materiales a base de dolomita

En materiales a base de dolomita, quemados, impregnados con brea o liga resina, el mecanismo de desgaste siempre se da por infiltración de la escoria, con un subsecuente desprendimiento de material. Si la escoria está saturada con CaO, es compatible con el material de dolomita; en caso de no estar saturada los resultados de reacción entre la escoria y la cara caliente del material de dolomita es la de un rápido desgaste.

El ataque químico en los ladrillos de dolomita depende de la reacción de los óxidos de la escoria con el CaO matriz de la dolomita. Estos óxidos reaccionan con el CaO y forman compuestos diferentes con puntos bajos de

fusión (los mismos compuestos de la propia escoria) y al final los cristales MgO de la dolomita son arrasados. Es por lo tanto esencial reducir el desgaste de los ladrillos de dolomita agregando primero cantidades adecuadas de cal para saturar la demanda de CaO en la escoria. Luego se debe agregar algo de cal dolomítica (aproximadamente 15-25% de la cantidad de cal) para saturar la escoria en relación con su contenido de MgO.

El observar la escoria en las ollas de las plantas de acero con buena vida útil, nos dice que se requiere una cantidad de 55-65 % de CaO+MgO en la escoria. La tabla XXVIII muestra la composición en porcentaje de dicha escoria usada para la producción de grados de acero de bajo carbón.

Tabla XXVIII. **Análisis típico de una escoria no agresiva a la olla**

Óxidos refractarios		Óxidos fundentes			
CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	MnO
56 %	7,5 %	44 %	19 %	5 %	3,5 %

Fuente: FRANCHI, Alberto. Uso de revestimientos de dolomita en los cucharones de tratamiento. p. 18.

- Mecanismo de desgaste en cuadro porta-tapón, cuadro porta-boquillas, tapón poroso y boquillas

Este mecanismo de desgaste, se da por erosión del acero líquido sobre el piso de la olla, en el caso del cuadro porta-tapón y del tapón poroso, contribuye específicamente a dicho desgaste, la agitación del gas inerte. En el caso del cuadro porta-boquillas, el paso constante del acero líquido al momento del vaciado es fundamental para el desgaste por erosión, mismo que afecta el

diámetro interno de las boquillas. En la figura 24 se muestra el desgaste interno de la boquilla inferior o anillo.

Figura 24. **Desgaste del diámetro interno de la boquilla inferior**

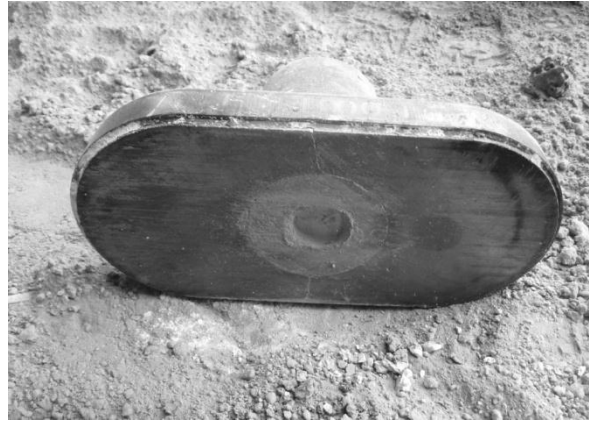


Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

- **Mecanismo de desgaste en válvulas deslizantes**

El desgaste en las placas deslizantes usadas en la olla de refinación es debido principalmente a la erosión causada por el acero líquido en el momento del vaciado, a esto se suma aunque en menor intensidad, el desgaste producido por el oxígeno insuflado en la limpieza del mecanismo de vaciado. En la figura 25 se muestra el desgaste del diámetro interno de la placa móvil del sistema de válvula deslizante.

Figura 25. **Desgaste del diámetro interno de la placa móvil**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

#### **4.4. Vaciado de acero en distribuidor**

El vaciado de acero consta de varios pasos, de los cuales se definen a continuación los más importantes:

- Apertura de válvula deslizante

Este es uno de los procedimientos más críticos de este proceso, ya que hay que tener en mente todas las soluciones a los posibles problemas que se puedan originar. Esta apertura se realiza mediante un sistema hidráulico y su desarrollo es muy sencillo. Una vez la olla esté instalada justo por encima del centro del distribuidor en el punto de caída del flujo, se abre la válvula deslizante.



- Inconvenientes en la apertura de válvula deslizante
  - Por fallas mecánicas en el mecanismo de la válvula.

Cuando el problema es por mal estado de los acoples en el momento de instalar las mangueras del sistema hidráulico, lo más aconsejable es cambiarlos o cambiar las mangueras, ya que estos tienen una vida útil la cual es disminuida por las altas temperaturas a los que son sometidos. Cuando el problema es por mal estado del cilindro a la hora de ordenar la apertura de la válvula, no debe dudarse en cambiarlo por el que se tiene de repuesto. En cualquiera de estas dos situaciones si no se actúa rápido, se puede originar el enfriamiento del acero en el punto específico de vaciado, con el riesgo de no poder abrir la válvula.

- Por fallas involuntarias en el proceso

Cuando no es suficiente la cantidad de arenilla que se deposita en la trayectoria de vaciado (cuadro porta-boquillas, boquilla superior, boquilla inferior, placa fija, placa móvil), el acero líquido proveniente del horno *EAF* a la hora de ser vaciado en la olla, se introduce en el cuadro porta-boquillas y al no encontrar suficiente oposición se instala en partes de la trayectoria de vaciado. Este acero al estar aislado, tiende a enfriarse y por ende a solidificarse, provocando el estancamiento del flujo a la hora de solicitar su fluidez.

Cuando se traslada la olla para depositar la arenilla en la trayectoria de vaciado, es posible que en el movimiento se desprendan residuos de escoria de las paredes o de la orilla de la misma, bloqueando parcialmente el conducto de vaciado, lo cual provoca la obstrucción del flujo de acero, es por esto que a la

hora de abrir la válvula, solo cae un poco de arenilla y el acero se queda retenido.

En cualquiera de los dos casos anteriores, la única solución es el lanceado de oxígeno, esto es introducir oxígeno por medio de tubería de hierro negro de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de diámetro por debajo de la placa móvil, hasta que el acero solidificado se funda y permita de esta forma la evacuación del flujo. Esta maniobra es muy efectiva pero poco recomendable, tanto por el peligro que representa hacia las personas, como por el deterioro de placas y boquillas que origina.

- Colado de acero de la olla al distribuidor

Esta es una tarea muy sencilla de realizar, pero en la que hay que estar muy atentos y ser muy cuidadosos en su desarrollo. El colado no es más que el manejo cuidadoso de mantener el nivel de acero líquido en el distribuidor, tal y como lo requiere el proceso de colado continuo.

Uno de los procedimientos que el operador de colado debe seguir con mucho cuidado, es la aplicación del polvo de cobertura, cuyo objetivo principal es el de proteger el acero que se encuentra en el distribuidor, del ambiente externo, lo cual significa aislarlo del aire, polvo o algún otro elemento que pueda originar disminución en la temperatura o algún tipo de contaminación que pueda afectar las condiciones de colado. Todo lo anterior, nos garantiza un tiempo de colado efectivo y por ende la permanencia justa del acero en la olla, lo que repercute en el cuidado del material refractario de la misma. En la figura 26 se muestra como se realiza el colado de acero líquido de la olla al distribuidor.

- Cerrado de válvula deslizante

El cierre de la válvula se puede efectuar ya sea por la finalización del acero líquido en la olla, o debido a fallas en el proceso, para lo cual, se resaltan las razones más importantes:

Figura 26. **Colado de acero líquido de la olla al distribuidor**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

- Por enfriamiento del acero que se está colando

El tiempo de vaciado de una colada depende de factores tales como: temperatura de la colada, sección y largo de la palanquilla, número de líneas de colado y cantidad de acero que contenga la olla. Por lo tanto este puede variar entre una colada y otra, por lo que en cada caso, hay un tiempo promedio que hay que respetar, y al alargarse por alguna razón cualquiera de estos tiempos, entonces el acero que se está colando empieza a enfriarse, debido a que la temperatura de dicho acero, está calculada para un tiempo determinado.

- Por enfriamiento del acero de la siguiente colada

Como se mencionó en el inciso anterior, algo muy importante de resaltar son los tiempos que se manejan para vaciar una olla, esto es la coordinación en el tiempo desde el horno *EAF*, pasando por el horno *LF*, hasta vaciar el acero en el distribuidor.

Cuando estos tiempos no se manejan con precisión, es posible que suceda el adelantamiento o el atraso en el empalme de una colada. Cuando es el primero, la siguiente colada tiene que permanecer en espera del empalme, más tiempo del estipulado, lo cual ocasiona que el acero se enfríe y se corra el riesgo de botar las 60 toneladas de acero líquido. Por lo tanto antes de que esto pase, es necesario cerrar la válvula antes de que se termine el acero que está colando, para luego botar al escoriadero, dicho acero restante, el cual debiera ser una pequeña cantidad.

- Por elementos fuera de rango en el acero

En este caso, la imposibilidad de seguir colando se da por el bloqueo de las boquillas de la olla y/o las boquillas del distribuidor, esto ocasionado porque la mezcla de acero, trae elementos fuera de rango que al reaccionar con los materiales de dichas boquillas, se forman incrustaciones que bloquean el paso del acero. Al presentarse esta eventualidad, es necesario cerrar la válvula, para evitar el atraso en el empalme y el desgaste de los materiales por intentar limpiar dichas incrustaciones.

- Por falta de energía eléctrica

Al faltar la energía eléctrica, deja de funcionar el sistema de colado continuo, lo cual inevitablemente obliga a parar el proceso, por medio del sistema de cerrado manual.

- Por falta de agua en el proceso

El agua es fundamental para el enfriamiento del proceso de colado de acero, por lo tanto al no contar con ella, es necesario detener dicho proceso, iniciando por el cerrado de la válvula.

- Por finalización del acero líquido que se está colando

Cuando todos los pasos y procedimientos se han realizado de una buena forma, el cierre de la válvula se ejecuta cuando se termina el acero líquido de la olla y comienza a caer escoria, este paso se lleva a cabo en un muy pequeño lapso de tiempo y su importancia es trascendental.

Si se deja pasar escoria, se dañan el cuadro porta-boquillas, las boquillas y las placas de la válvula en la olla, y a la hora de limpiar estas, es necesario aplicar una mayor cantidad oxígeno, y mientras más se utilice este, más es el desgaste ocasionado.

Si no se deja pasar escoria, la limpieza es rápida, sencilla y exitosa y no se corre el riesgo de dañar los materiales y el equipo, no solo con la escoria sino con la aplicación del oxígeno.

El cerrado de la válvula por el cambio de acero a escoria es un procedimiento cuya perfección solo se logra a través del tiempo y de la experiencia, teóricamente, la escoria es de una apariencia y viscosidad diferentes al acero. Para cualquiera de los dos casos anteriores, una vez se cierra la válvula, se deben esperar aproximadamente 15 segundos con el objeto de dar tiempo a que el acero retenido en la trayectoria boquillas-placas, se solidifique y de esta forma poder abrir nuevamente la válvula para su limpieza respectiva.

#### **4.5. Limpieza**

Cuando se ha tomado la decisión de continuar utilizando la olla, se procede a realizar las tareas siguientes:

- Desmontado de equipo auxiliar de la válvula

Cuando se cierra la válvula, la olla es movida por la torreta 270 grados en el sentido de las agujas del reloj, inmediatamente la grúa recoge la tapadera y la coloca en el suelo, luego regresa, toma la olla y la traslada a la parte de abajo del área, en donde se desmontan la base del protector, el protector y el cilindro del sistema hidráulico.

- Vaciado de escoria

La olla es trasladada al escoriadero, para retirar la escoria almacenada. Es necesario estar seguros que la escoria ha sido evacuada en su totalidad, para facilitar el resto de la limpieza.

- Rasurado de escoria

Este es un procedimiento que tiene como finalidad limpiar la escoria que se acumula en toda la periferia de la pestaña sujetadora de ladrillos de la olla, valiéndose para ello de un mecanismo dentado de acero, instalado fijamente en una estructura, un elemento punzante de acero y de maniobras con la grúa y la olla las cuales son dirigidas por una persona experta. Realizado lo anterior, se procede a voltear nuevamente la olla, para retirar la escoria acumulada.

- Limpieza del tapón poroso

La limpieza del tapón poroso es un procedimiento muy importante y delicado, ya que de su éxito depende el buen funcionamiento del mecanismo de introducción de gas inerte a presión en la olla.

Por medio de tubería de hierro negro, se introduce oxígeno con el fin de limpiar los residuos de acero y/o escoria que se acumulan en la superficie del cuadro porta-tapón y así poder dejar libre el mecanismo de introducción de gas. Este es un procedimiento que requiere de mucho cuidado y experiencia. Un indicio de que la limpieza ha sido satisfactoria, es el hecho de observar un cambio de color en los gases de la reacción del oxígeno y el material del tapón. Cuando esto sucede, se introduce gas propano al tapón, con el objeto de asegurarse que el camino está libre a la hora de aplicar el gas inerte.

Cuando la olla es nueva, encontrar el centro del cuadro no es difícil, ya que se visualiza muy bien en el piso de la misma, el problema más serio, es cuando el piso de la olla tiene incrustada demasiada escoria (esto es cuando la olla lleva varias coladas) lo cual obstruye la visual del cuadro porta-tapón y obliga a realizar pequeñas aplicaciones de oxígeno en el área del piso cercana

a la ubicación del cuadro, hasta lograr encontrar el mismo. Hay que tener mucho cuidado con esto, ya que el oxígeno destruye el material del cuadro y del tapón, por lo que se necesita de mucha experiencia y conocimiento para ubicar el agujero en el cuadro.

- Limpieza de boquillas y placas

Luego de haber concluido la limpieza del tapón poroso, la olla es trasladada a la siguiente área de limpieza y colocada en una posición horizontal. Se coloca un escudo sobre la válvula, que sirve como protección y base para el lanceado. Por medio de tubería de hierro negro, se introduce oxígeno con el fin de limpiar los residuos de acero y/o escoria que se acumulan en la trayectoria boquilla-anillo-placa fija-placa móvil, este procedimiento llamado lanceado es muy delicado ya que a la hora de estar introduciendo oxígeno hay que tener cuidado con dos cosas:

- Cuando el oxígeno hace contacto con el acero, este lo funde, pero si no se tiene el cuidado de mantener una distancia entre estos, se corre el riesgo de bloquear la salida del tubo, lo cual ocasiona una retención de presión de oxígeno que tiene que encontrar una salida y que generalmente tiende a ser el acople que el operador tiene en sus manos, dicha reacción puede ocasionar daños muy delicados para este operador y para los que estén cerca de la maniobra.
- Este lanceado se debe realizar lo más rápido y exitosamente posible, ya que mientras más oxígeno se introduzca y por más tiempo, se tiende a dañar más las superficies internas tanto de las boquillas como de las placas.



En la figura 27 se muestra como se realiza el lanceado para la limpieza de la trayectoria de vaciado.

Figura 27. **Limpieza del mecanismo de vaciado de una olla**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Se retira el escudo y se procede a abrir la puerta de la válvula, se examina el estado de las placas y se determina si se cambian o se continúan usando, también se verifica el estado del anillo y de la boquilla.

Se desmontan los resortes y se realiza una limpieza general. Se instalan los nuevos resortes, las placas, se aplica grasa grafitada a dichas placas para ayudar a su deslizamiento y se cierra la puerta, asegurándola con los pines de cierre. Por último se aplica material concreto refractario en toda la superficie de la válvula como protección de la misma.

#### **4.6. Revisión de equipo**

Luego de realizada la limpieza de los materiales y el equipo, se procede a la revisión de los mismos de la manera siguiente:

- Revisión del ladrillo refractario

Esta se realiza en base a la experiencia del personal a cargo y consiste básicamente en observar detalladamente el desgaste de los ladrillos, mediante la referencia del diámetro original del revestimiento y/o la diferencia comparativa de las diferentes secciones de las paredes de la olla, a esto se le suma la cantidad de coladas que lleva dicha olla y el historial de proceso de la misma, entiéndase cantidad de reparaciones parciales del ladrillo tanto de la pared como del piso, tipo de acero que se está fabricando, tiempo de residencia en el horno de refinación y otros datos que intervienen en dicho proceso.

Cuando a una olla no se le detectan problemas visuales en su revestimiento de trabajo y el número de coladas no se encuentra cerca del límite, esta puede continuar su servicio.

- Revisión del tapón poroso

En la práctica es de gran importancia reconocer el desgaste progresivo del tapón poroso para determinar el momento de sustituirlo. Esto se consigue mediante un diseño especial del sistema de capilares. Un perfil de salida rectangular y visible de los canales del gas se va volviendo redondo a medida que aumenta el desgaste, mostrando al utilizador cuando debería cambiarse el tapón poroso. Todos los conos de insuflado de laberinto están provistos de este sistema óptico de detección precoz del desgaste.

Una vez vertida la escoria de la olla y librada las obstrucciones de acero y escoria en el extremo del tapón, se hace pasar gas o aire por el cono para controlar su función. Esto lleva a un efecto de enfriamiento en la vecindad directa del laberinto, lo que llega a ser visible como anillo o cuadrado oscuro. Si la sección visible es rectangular, el espesor remanente es suficiente y el cono puede ser otra vez utilizado. Si la sección visible es circular y de apariencia negra, la altura crítica del cono ha sido alcanzada y el cono debería ser sustituido. Este paso de gas o aire, también nos ayuda a comprobar que no existan fugas en la tubería de cobre, mediante el acercamiento de fuego.

Como todo material refractario, el tapón poroso tiene su vida útil la cual es de aproximadamente 45 coladas y tiene una longitud de 370 milímetros, estos dos datos, pueden servir de referencia para tomar una decisión a la hora de desechar un tapón.

- Revisión de placas deslizantes

Esta se realiza por medio de una inspección visual, en donde el diámetro del agujero, es el criterio principal para el desechado de una válvula. También cuando existe mucho desgaste ocasionado por acero acumulado a la hora de abrir y cerrar la válvula, las placas se van dañando, se les va formando una especie de charco o yaga a un lado del agujero, lo cual obliga también a desechar las mismas. Por último, la vida útil de un juego de placas es de aproximadamente 3 coladas, dato que consolidado con los anteriores, dan un criterio más amplio del momento de cambiar las mismas.

- Revisión de boquilla inferior

El desechado de un anillo depende básicamente del estado en que se encuentre, esto es, el desgaste de su diámetro interno, a lo cual se le suma una vida útil promedio de 8 coladas. El desgaste de un anillo también depende de las condiciones bajo las cuales haya trabajado, ya que la limpieza y el lanceado son dos procedimientos que obligan a la utilización de oxígeno, mismo que es severamente dañino para el material de que está compuesto dicho anillo.

- Revisión de boquilla superior

Al igual que la boquilla inferior, el desechado depende básicamente del estado en que se encuentre, analizado este por inspección visual. Por medio de la experiencia, se ha concluido que el desechado de una boquilla superior depende en gran parte del desechado de una boquilla inferior, ya que de esta última depende el éxito del vaciado del acero, por lo tanto, es posible que mientras la boquilla inferior este en buen estado, la boquilla superior este trabajando con cierto desgaste, siempre y cuando no sea excesivo.

Un dato de utilidad es que en promedio, por cada 2 boquillas inferiores que se cambian, se cambia una superior, o sea que la vida útil promedio de la boquilla es de 16 coladas.

- Revisión de cuadros porta-tapón y porta-boquillas

Esta revisión se logra de manera visual, por lo que requiere de gran experiencia y habilidad para observar el posible desgaste de estas piezas. Ante dicho desgaste, se procede a realizar una reparación con el material establecido para dicha operación.

Cuando se culmina la limpieza y revisión de la olla, esta es trasladada al área de montaje y desmontaje de equipo auxiliar, donde se limpia con aire el mecanismo de vaciado, eliminando cualquier obstrucción en las boquillas o placas. Se instala el cilindro, la base del protector y el protector del cilindro del sistema hidráulico, luego se prueba el equipo y se cierra la válvula.

Por último, la olla es colocada en un punto estratégico en el cual por la parte de arriba se introduce un mecanismo de vaciado que llega directamente al agujero del cuadro porta-boquillas, inmediatamente se vierte una cantidad establecida de arenilla, hasta observar que esta cubrió por completo dicho agujero y la superficie del cuadro. Y es así como la olla esta lista para entrar en servicio.



## **5. MANTENIMIENTO DE UNA OLLA**

Cuando se habla de mantenimiento de una olla, se refiere al proceso de sacar de servicio la misma para cambiar tanto su revestimiento de ladrillo, como sus piezas refractarias, y de esta forma, contar nuevamente con una olla de refinación lista para el proceso de recepción, refinación y vaciado de acero líquido.

Este mantenimiento cubre dos situaciones en cuanto al cambio de revestimiento de ladrillo se refiere; la primera cuando es necesario cambiar todo el ladrillo de seguridad y de trabajo y la segunda cuando solo es necesario cambiar el ladrillo de trabajo. Este capítulo, se centra más en la segunda, ya que es la que se presenta con más frecuencia y de la que depende la eficiencia del proceso de refinación.

### **5.1. Desgaste del material refractario**

Este es el primer y más delicado factor a tomar en cuenta, cuando se tiene que tomar la decisión de sacar de servicio una olla de refinación, por lo tanto se orienta como desgaste del material refractario de una olla, a toda la información que ayude a establecer los criterios que contribuyen a determinar la finalización de la vida útil del revestimiento de trabajo de la misma. Aquí entran en juego otros factores importantes tales como: costos, tiempo y mano de obra, por lo que hay que tener mucho cuidado y experiencia. Esta información es la siguiente:

- Por deterioro del piso

Para analizar el estado del piso de trabajo de una olla, es importante saber lo siguiente:

- El piso de trabajo está compuesto por una capa de ladrillo de 10 pulgadas de espesor.
- Después del piso de trabajo está el piso de seguridad, el cual tiene un espesor de 4 ¼ pulgadas.
- Como último soporte del piso de la olla, se cuenta con una capa de acero de 1 pulgada de espesor.
- La presión del acero en la olla esta soportada directamente por el piso de la misma.
- El piso es el que recibe el impacto del chorro de acero al momento del vaciado del *EAF* a la olla.
- La vida útil promedio del revestimiento del piso de trabajo en una olla, es de aproximadamente 80 coladas.

- Por deterioro de las paredes

Para analizar el estado de las paredes de trabajo de una olla, es necesario saber lo siguiente:

- Las paredes de trabajo están compuestas por una capa de ladrillos de 5 pulgadas de espesor.
- Después de la pared de trabajo está la pared de seguridad, la cual tiene un espesor de 3 pulgadas.
- Como último soporte del piso de la olla, se cuenta con una capa de acero de 1 pulgada de espesor.



- Como a 30-50 centímetros de la superficie de la olla, es donde se concentra el área de formación de escoria, por lo tanto hay más desgaste.
- La vida útil promedio del revestimiento de la pared de trabajo de una olla, es de aproximadamente 80 coladas.
- Por deterioro de los cuadros porta-tapón y porta-boquillas

Para analizar el estado de los cuadros porta-tapón y porta-boquillas en una olla, es necesario saber lo siguiente:

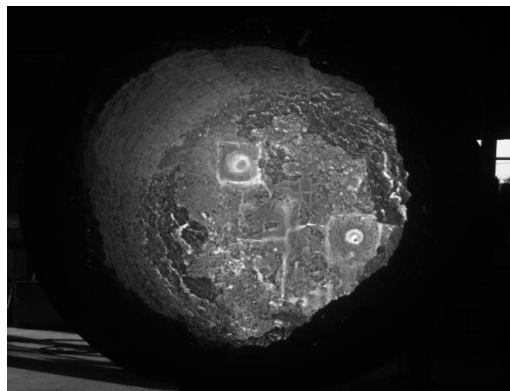
- Los cuadros están compuestos por una sección de material refractario de 196 pulgadas cuadradas y un espesor de aproximadamente 18 pulgadas.
- Los cuadros al igual que el ladrillo del piso, reciben la presión del acero líquido y el impacto del chorro de acero al momento del vaciado del *EAF* a la olla.
- El cuadro porta-tapón sufre el desgaste ocasionado por el oxígeno a la hora de la limpieza del tapón poroso.
- La vida útil promedio de los cuadros en una olla es de aproximadamente 80 coladas.

En base a todo lo anterior se puede concluir que básicamente el patrón de medida para el criterio de desechado de una olla, es el análisis visual de desgaste tanto de los ladrillos como de los cuadros, sumado a la cantidad de coladas que estos lleven. Cabe mencionar que dicha inspección solo se obtiene con la práctica y la experiencia. Por lo tanto, la duración de un revestimiento de trabajo (piso y pared), en una olla, depende únicamente del criterio de desechar la misma y este puede cambiar para cada olla, dependiendo de las condiciones

de trabajo de las mismas. Por lo general, es la pared de trabajo la que se deteriora primero. Vida útil de aproximadamente 80 coladas.

En la figura 28 se puede apreciar una olla con más de 80 coladas, tanto el piso como las paredes están bastante desgastados y los cuadros aún con las reparaciones hechas, se observan con cierto desgaste.

Figura 28. **Desgaste del material refractario de una olla**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Existen otros motivos por los que se puede desechar una olla, estos no son muy comunes, sin embargo es necesario tenerlos en cuenta:

- Por caída de ladrillos de pared o de piso
- Por caída de cuadros porta-tapón o porta-boquillas
- Por filtración de acero tanto en las paredes como en el piso

Es importante mencionar que el desgaste de las boquillas, el tapón poroso o las placas de la válvula, no influyen en la decisión de sacar de servicio una

olla de refinación, ya que estos materiales pueden ser reemplazados durante el proceso de operación, sin necesidad de desechar la olla.

## **5.2. Demolición del material refractario**

Este proceso inicia desde que la olla sale de servicio, la olla se manda al Departamento de Refractarios en donde esta permanece estacionada y así puedan llevarse a cabo dos situaciones necesarias y muy importantes:

- Por medio de aire, la olla tiene que enfriarse, ya que al no suceder esto es muy difícil trabajar dentro de ella debido a la temperatura que conserva.
- Con el enfriamiento, se desarrolla el proceso de degradación del material refractario, esto es desprendimiento de óxidos en su mayoría cal, tanto de las paredes como del piso de la olla. Estos óxidos acumulados, es necesario evacuarlos, este procedimiento debe de realizarse de 2 a 3 veces antes de empezar a demoler la olla ya que el tiempo aproximado de enfriamiento es de 24 horas. El riesgo que se corre al no evacuar dichos óxidos, es que estos se endurezcan en el piso, lo cual ocasiona problemas tanto de tiempo como de trabajo a la hora de demoler el mismo.

### **5.2.1. Material refractario de la pared**

Se procede en primer lugar a desechar partes dañadas de la pestaña aseguradora de ladrillos, para posteriormente repararla. Luego se procede a demoler los ladrillos con el equipo correspondiente, esto es, desprender los ladrillos con la ayuda de barretas, picos, y la ayuda del gancho y la grúa provista en el área. La figura 29 muestra la actividad de demolición de la pared de trabajo de una olla de dolomita.

Figura 29. **Demolición de la pared de ladrillos de una olla**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Cuando la pared de seguridad está demasiado dañada se procede también a demolerla, pero en el caso de estar dañada superficialmente es más económico y práctico realizar una reparación, utilizando una mezcla de concreto refractario más mortero refractario, este último utilizado como material de amarre.

Lo mismo pasa cuando lo que está dañado es la última hilera de ladrillos de seguridad, se botan y se procede a repararlos utilizando una mezcla de concreto más mortero refractario reforzando la misma con secciones de ladrillo.

### **5.2.2. Material refractario del piso**

El procedimiento es similar al de la pared, aquí se incluye la utilización de un taladro neumático lo cual hace más fácil y rápida la demolición. Esta última incluye a los cuadros portatapón y portaboquillas, por lo que se tiene que tener

mucho cuidado de no dañar las superficies receptoras de dichos cuadros, que no es más que la lámina de acero del fondo de la olla. La figura 30 muestra la actividad de demolición del piso de trabajo de una olla de dolomita.

Figura 30. **Demolición del piso de ladrillos de una olla**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

En cuanto al ladrillo de seguridad del piso, se procede de la misma forma que para el ladrillo de seguridad de la pared.

### **5.3. Armado del material refractario**

En el armado del material refractario, intervienen diferentes tipos de ladrillo y piezas refractarias, pero en particular como se mencionó al principio, son los ladrillos de la pared y el piso de trabajo, los que juegan un papel muy importante en la vida útil de una olla. Por lo que a continuación, se describen algunas reglas generales para el armado de estos ladrillos, que para la mayoría de las ollas y para la redacción de esta sección, son de dolomita:

- El armado de los ladrillos de dolomita es todo seco, es decir no se necesita de ningún tipo de mortero; por lo tanto, se usa una masa para apisonar de granulometría muy fina, en sustitución de los morteros para cualquier corrección en el armado de ladrillos.
- Los ladrillos son cuidadosamente puestos uno al lado del otro de forma que sus bordes se toquen. No hace falta expansión en las juntas y no debe usarse ninguna alúmina en relación con los ladrillos de dolomita
- Para el apisonado de las mezclas de dolomita, use un martillo neumático.
- Para el corte de los ladrillos de dolomita, la sierra de disco debe trabajar en seco; en consecuencia, el personal debe utilizar mascarilla para filtrar partículas suspendidas.
- Es recomendable abrir los paquetes de ladrillo de acuerdo con las necesidades de armado, para evitar la hidratación de los mismos.
- El armado debe ejecutarse sin interrupciones y cuando esté concluido, el calentamiento de la olla debe iniciar de inmediato.
- La olla recién armada, debe ser mantenida en posición vertical debido a su construcción limitada de materiales de amarre, esto para evitar caída de ladrillos, por lo menos hasta que sea precalentada y se genere el proceso de expansión térmica.

### **5.3.1. Material refractario de la pared**

La pared de trabajo se arma con dos tipos de ladrillo:

- Una hilera de ladrillos que incluye las dos rampas de inicio SU 545
- El resto de la pared lleva ladrillo de dolomita SU 545

La diferencia entre un ladrillo y otro son sus propiedades mecánicas, ya que sus dimensiones son las mismas. El procedimiento de armado es el siguiente:

- Se aplica una capa de masa refractaria con granulometría fina como material de nivelación, de aproximadamente 5 pulgadas de ancho en toda la periferia del piso de trabajo, para nivelar la superficie del mismo.
- Se instalan las dos rampas de ladrillo de inicio (24 ladrillos cada rampa), más cuatro ladrillos normales, debido a que el diámetro de las paredes excede la medida para la cual está diseñada dicha rampa. Hay que tomar en cuenta, que se deja una separación aproximada de 1 centímetro entre la pared de seguridad y la rampa.
- Se aplica una masa dolomítica de relleno como material de respaldo, entre la pared de seguridad y los ladrillos de la rampa.
- A partir de la rampa, se continúan colocando ladrillos de dolomita SU 545, con su respectivo material de respaldo. La figura 31 muestra la actividad de armado de la pared de trabajo de una olla de dolomita.

Figura 31. **Armado de la pared de ladrillos de una olla**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Es muy importante tomar en cuenta el traslape de los ladrillos, ya que al no coincidir las hileras por inexactitudes de colocación, es necesario cortar ladrillos para hacer que las hileras retomen su traslape normal. Este traslape es muy importante, ya que le da mayor vida útil a las paredes, evitando en gran parte el rajado y la posible perforación de las mismas.

- Para la terminación de esta pared, lo más recomendable es hacerlo de la misma forma como se inició, pero, se tiene el problema de que la pestaña sujetadora de ladrillos no coincide con la inclinación que lleva dicha pared, además de esto, la pestaña no es del todo recta en su superficie, lo cual dificulta una buena terminación. Por lo tanto se opta por dejar un espacio de aproximadamente 2 pulgadas entre la hilera final de ladrillos y la pestaña, con el objeto de rellenar este espacio con concreto refractario con fibra de acero y de esta forma crear una capa de material la cual ejercerá presión entre la pestaña y los ladrillos y evitará de esta forma la caída de los mismos.



Algo importante de resaltar, es el hecho de colocar un aislante entre el concreto y los ladrillos (puede ser algún plástico común), esto con el objeto de evitar el contacto del agua con los ladrillos de dolomita, ya que como se ha mencionado, no soportan la humedad.

- Se repara la boquilla de rebalse aplicándole concreto refractario con fibra de acero.
- Se aplica una capa de mortero refractario como pegamento en todo el ancho de la pestaña y en la boquilla de rebalse, con el objeto de amarrar el concreto refractario.
- En la periferia del piso de la olla es recomendable aplicar una capa de mezcla plástica dolomítica para apisonar en forma diagonal a 45 grados con respecto a la pared y al piso de la olla, con el objeto de evitar la filtración de acero líquido en la intersección entre la pared y el piso mencionada.
- Por último se realiza una limpieza tanto del piso como de la pared, lo cual da por terminado el armado de la pared.

### **5.3.2. Material refractario del piso**

Hay dos formas distintas de armar el piso de una olla:

- Piso tipo isla

En este caso, se arma primero la pared de ladrillos, para luego armar el piso.

- Piso sobrepuesto

Es lo contrario del primero, o sea, que la pared de ladrillos descansa directamente sobre los ladrillos del piso que en consecuencia, deben colocarse primero. Este es el tipo que se usa en las ollas que estamos describiendo.

El piso de trabajo se arma con 2 tipos de ladrillo:

- Un 60% del área del piso lleva ladrillo de dolomita 4PO T1
- Un 40% del área del piso lleva ladrillo de dolomita 4PO HR-27

Al igual que los ladrillos de la pared, la diferencia entre un ladrillo y otro, son sus propiedades mecánicas, ya que las dimensiones son las mismas. El procedimiento de armado es el siguiente:

- Se riega una capa niveladora aislante de masa dolomítica de relleno. Tomando como base las orillas del cuadro porta-tapón poroso, se coloca una hilera de inicio de ladrillos de los dos tipos.
- Sobre la base de la hilera anterior, se procede a instalar el resto de los ladrillos.
- Se realizan cortes en los ladrillos, de tal manera que estos se ajusten a la periferia de la circunferencia, manteniendo un espacio entre ladrillos y pared de seguridad aproximado de 1 a 2 pulgadas.
- Se aplica una mezcla plástica dolomítica como material de relleno entre dicho espacio, bien apisonada y nivelada al ras del piso.

- Se colocan los moldes para cuadros porta-tapón poroso y porta-boquillas, y se procede a nivelar los mismos con material apisonable.
- Por último, se realiza la limpieza del área y se coloca una tapadera en cada cuadro para proteger el material trabajado. La figura 32 muestra la actividad de armado del piso de trabajo de una olla de dolomita.

Figura 32. **Armado del piso de ladrillos de una olla**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Luego de armado el ladrillo, se procede a la instalación de las piezas especiales de la siguiente manera:

- Armado de cuadros porta-tapón poroso y porta boquillas

Se limpia bien la superficie de trabajo, luego se aplica mortero refractario como pegamento, se instalan los cuadros, se centran con los agujeros en el fondo de la olla y se procede a probar el tapón poroso con el cuadro respectivo.

Teniendo éxito este paso, se procede a aplicar material apisonable en los alrededores de los cuadro, entre estos y el ladrillo de seguridad.

- Armado de boquilla superior

Cuando se considera que la olla ha alcanzado una temperatura adecuada para el secado de los materiales a utilizar, es cuando se dispone a instalar la boquilla superior con la olla ubicada en el quemador horizontal encendido. Se prepara el material a utilizar, se coloca la boquilla en la herramienta de instalación y se limpia la superficie receptora del cuadro porta-boquillas. Se prueba la boquilla en seco en el cuadro para observar ajustes.

Se aplica suficiente material mortero refractario con un 60% de alúmina en toda la superficie lateral de la boquilla, de forma simétrica con el objeto de que esta se centre sola en el cuadro, ya que existe un huelgo entre boquilla y cuadro de aproximadamente 5 milímetros. Se instala la boquilla, dándole golpes al mecanismo de instalación hasta que las cuatro bases de este asientan en la base de la placa fija, cuando esto se logra, se mantiene la presión sobre la boquilla por un tiempo aproximado de 1,5 minutos, calculando el secado del material. Luego se extrae dicho mecanismo, dejando la boquilla debidamente instalada.

Para comprobar la correcta instalación, se observa que no salga la llama alrededor de la boquilla, ya que al darse esta situación, da un indicio de una mala instalación. También es de ayuda mover la boquilla hacia los lados levemente, si esta se mueve, también es señal de que no fue correctamente instalada. Dado uno de los dos problemas anteriores, la boquilla tiene que sacarse e instalarse de nuevo.

- Armado de boquilla inferior (anillo)

Inmediatamente después de instalada con éxito la boquilla superior, se procede a colocar la boquilla inferior. Se prepara el material a utilizar, se coloca la boquilla en la herramienta de instalación y se limpia la superficie receptora del cuadro porta-boquillas. Se prueba la boquilla en seco en el cuadro y en la boquilla superior, para observar ajustes.

Se aplica suficiente material mortero refractario con un 60% de alúmina en toda la superficie frontal de la boquilla (la que hace contacto con la boquilla superior), de tal forma que al hacer el contacto, debido a la presión, el material se riega hacia los lados formando el recubrimiento necesario. Se instala la boquilla dándole golpes al mecanismo de instalación, hasta que las cuatro bases de este, asientan en la base de la placa fija, cuando esto se logra, se mantiene la presión sobre la boquilla por un tiempo aproximado de 1,5 minutos, calculando el secado del material, luego se extrae el mecanismo de instalación, dejando la boquilla instalada.

Para comprobar la correcta instalación de la boquilla, se coloca la placa fija y se observa que no haya espacio alguno entre esta placa y su base receptora, al suceder lo contrario, la boquilla está mal instalada por lo que es necesario sacarla e instalarla de nuevo.

- Armado de tapón poroso

Al terminar con éxito la instalación de las boquillas, se continúa el proceso con la colocación del tapón poroso. Se prepara el material a utilizar, el tapón poroso y se limpia la superficie receptora del cuadro porta-tapón y de la tuerca

sujetadora del tapón. Se prueba el tapón en seco en el cuadro para observar ajustes.

Se aplica suficiente material mortero refractario, en toda la superficie lateral del tapón con el objeto de que este se centre solo en el cuadro, ya que en este caso también existe un huelgo entre tapón y cuadro de aproximadamente 5 milímetros. Se instala el tapón dándole golpes por medio de un cilindro hueco en donde se introduce el tubo del tapón, esto se hace hasta que se sienta y/o se mire que el tapón ha llegado a su tope máximo, cuando esto se logra, se deja de golpear y se mantiene presionado el tapón con las manos por un tiempo aproximado de 2 minutos, hasta que se seca el material y se deja de sentir la presión que ejerce este hacia fuera.

A continuación se colocan dos o más anillos hechos de concreto refractario, con un grosor de  $\frac{1}{2}$  pulgada y 1 pulgada, las dos medidas, con el objeto de realizar mejores ajustes. Estos anillos, van pegados a la parte de atrás del tapón con mortero refractario. Se colocan unas roldanas de acero de aproximadamente 4 milímetros de espesor sobre los anillos de concreto, con el objeto de ejercer más presión y seguridad al apriete de la tuerca. Se aprieta la tuerca con la llave especial, teniendo el cuidado de dejarla lo más apretada posible, ya que de no suceder esto, se corre el riesgo de que dicha tuerca se afloje, lo cual podría ocasionar el desprendimiento del tapón poroso.

Luego se instala la tubería para introducción del gas inerte por parte de un instrumentista. Y por último se cubre la tuerca con mortero refractario, con el objeto de formar un sello de la tuerca con la base receptora de la misma.

- Armado de placas deslizantes

Al estar instaladas las boquillas y el tapón poroso, se procede a colocar el equipo siguiente:

- La placa fija

Esta se coloca haciendo contacto con la boquilla inferior, pegadas entre sí con mortero refractario y teniendo cuidado de que dicha placa se mantenga en contacto con su base receptora, colocándole el seguro respectivo.

- Los resortes de presión para placa móvil

Es importante que antes de que estos se instalen, se asegure la limpieza y ajuste de los agujeros receptores de resortes. Los resortes tienen que ser medidos anteriormente por un calibrador de presión, asegurándose de que todos cuenten con el mismo dato de presión establecido.

- La placa móvil

Esta se instala en el bastidor después de una buena limpieza con aire, para evitar desajustes. Cuando las placas están instaladas, solo queda esperar el momento en que la olla salga a servicio, para minutos antes culminar la instalación con los pasos siguientes:

- Se cierra el bastidor, asegurándolo con los candados
- Se colocan los seguros y los broches de seguros

- Se cubre la superficie de contacto entre el final de la placa móvil y los escudos de la válvula con mortero refractario, con el objeto de formar una capa aislante que proteja los elementos de un posible contacto con el acero. De la misma forma se aplica dicho material en los seguros.

Los pasos y procedimientos para el mantenimiento de una olla de magnesita, son los mismos que para una de dolomita, lo que cambia es el material de revestimiento de trabajo, tanto para el piso como para las paredes.

#### **5.4. Calentamiento**

Este es el siguiente paso a realizarse en el mantenimiento de una olla de refinación. El quemado (calentamiento), tiene dos objetivos principales, el primero, que es el de secar y permitir la expansión de los materiales refractarios, y el segundo, transmitir energía calorífica a dichos materiales para evitar el choque térmico. Ambos procesos, se dan mediante la aplicación de combustible (en este caso diesel), y el detalle se puede entender a continuación.

##### **5.4.1. Quemador vertical**

Inmediatamente después del armado de los materiales refractarios, se procede a instalar la olla debajo del quemador vertical para iniciar el proceso de precalentamiento y sus funciones son las siguientes:

- Regular la humedad de los materiales refractarios, partiendo de una temperatura de 0 grados Celsius, ya que los concretos y morteros se aplican húmedos y el revestimiento de ladrillos esta frío.



- Por medio de la transmisión de calor, lograr una expansión en la estructura interna de los ladrillos y de esta forma permitir un apriete entre los mismos.
- Debido a las altas temperaturas permitir aflorar algunos aceites los cuales ayudan a pegar los ladrillos entre sí y de esta forma lograr que tanto las paredes como el piso se mantengan tensadas y evitar así la caída de los ladrillos.
- Aumentar gradualmente la temperatura por medio del acercamiento de la campana porta-quemador, que transmite el flujo de diesel. Dicho aumento se efectúa de acuerdo a la lectura de un medidor de temperatura.

El quemador vertical está diseñado para calentar gradualmente a un rango aproximado de 0 a 1 000 grados Celsius. Es esencial que un revestimiento de dolomita sea precalentado a por lo menos 700 grados Celsius en posición vertical. Una olla puede sacarse de este quemador cuando su temperatura oscila entre los 800-900 grados Celsius, la cual alcanza en un rango aproximado de 18-24 horas. En la figura 33 se muestra la operación de calentar la olla por medio del quemador vertical.

Figura 33. **Calentamiento por medio de quemador vertical**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

#### **5.4.2. Quemador horizontal**

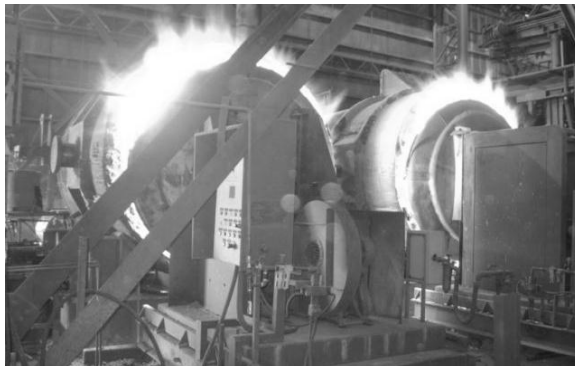
Al salir la olla del quemador vertical, inmediatamente se traslada al quemador horizontal para continuar el proceso de calentamiento y sus funciones son las siguientes:

- Continuar elevando la temperatura de la olla por medio de un mayor flujo de calor, con el objetivo de alcanzar la mayor posible y de esta forma poder recibir la colada de acero sin correr riesgos de un choque térmico que se produciría al recibir la olla, el flujo de acero líquido a 1 600 grados Celsius de temperatura, estando esta fría, evitando de esta forma, rajaduras en el revestimiento de trabajo que puedan originar filtraciones de acero en la olla.
- Con la olla en posición horizontal, es posible realizar el montaje de válvula deslizante, tapón poroso, y boquillas sin que la olla se enfríe, ya que no se apaga el quemador.

El quemador horizontal está diseñado para transmitir una temperatura máxima de aproximadamente 1 400 grados Celsius. Dicha temperatura la alcanza la olla en aproximadamente 5 horas, siempre y cuando la temperatura que se obtuvo en el quemador vertical se encuentre dentro del rango de 800-900 grados Celsius.

En este quemador, no es necesario graduar la llama de combustible para ir aumentando la temperatura, en este caso la válvula se abre a un punto determinado para que la olla vaya alcanzando la temperatura con el tiempo. En la figura 34 se muestra la operación de calentar las ollas por medio del quemador horizontal.

Figura 34. **Calentamiento por medio de quemador horizontal**



Fuente: Siderúrgica de Guatemala.

Las diferencias principales del quemado vertical y horizontal son las siguientes:

- El quemador horizontal, está diseñado para enviar un mayor caudal y por lo tanto transmitir más calor a la olla, mientras que el quemador vertical tiene que transmitir la temperatura desde 0 grados Celsius, lo cual lo

obliga a enviar un caudal de combustible mucho menor al del quemador horizontal.

- El quemador horizontal está diseñado para generar calor sin regulación, esto quiere decir alcanzar una mayor temperatura en un menor tiempo, mientras que el quemador vertical necesita ir regulando la temperatura, lo cual implica un mayor tiempo de quemado.
- Por último tenemos el orden en el proceso, el quemado horizontal permite el montaje del equipo de la olla, lo cual no se logra al estar esta verticalmente colocada.

Una olla de magnesita está compuesta de material refractario con un porcentaje mayor de óxido de magnesio, por lo que debido a sus propiedades mecánicas, absorbe más cantidad de calor que al estar compuesta de óxido de calcio, por lo tanto, una olla de magnesita necesita de más tiempo para alcanzar la misma temperatura que una olla de dolomita. La diferencia es la siguiente:

- El tiempo de quemado vertical para una olla de magnesita es de aproximadamente 36 horas, 12 horas más que para una olla de dolomita.
- El tiempo de quemado horizontal para una olla de magnesita es de aproximadamente 7,5 horas, 2,5 horas más que para una olla de dolomita.

Es adecuado tener un buen precalentamiento de ollas para:

- Cerrar juntas en el ladrillo y prevenir la penetración del metal

- Evitar choques térmicos severos que provoquen desgastes prematuros por desprendimiento de material.
- Minimizar la tendencia del metal a solidificar en el revestimiento durante la operación de vaciado del horno *EAF* hacia la olla.

#### **5.4.3. Temperatura de operación**

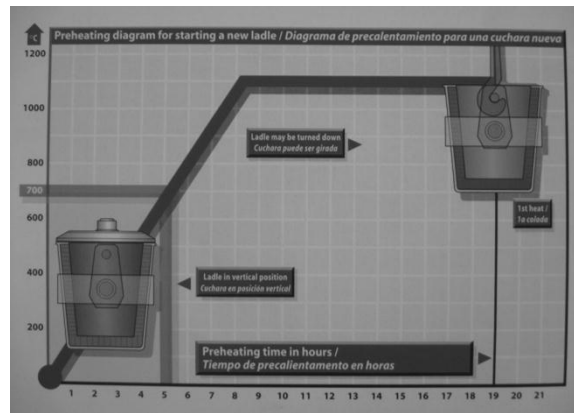
La temperatura de operación en una olla de refinación, se obtiene llevando a cabo todos los procedimientos descritos en el precalentamiento de ollas mediante los quemadores vertical y horizontal y no es más que la temperatura que debe tener una olla o mejor dicho el revestimiento de la misma, para entrar en operación, esto es, recibir por primera vez el vaciado de acero líquido proveniente del *EAF*.

Lo más importante en esta parte del proceso, no es solamente haber obtenido la temperatura de operación, sino la forma de llegar a la misma, ya que de ello dependerá el éxito a la hora de recibir la primera colada de acero. Los puntos importantes a tomar en consideración son los siguientes:

- La temperatura de operación que debe alcanzar un nuevo revestimiento, oscila entre los 1 000 y 1 200 grados Celsius.
- Esta temperatura la debe alcanzar en un rango de tiempo de 23 a 25 horas, 19 horas en el quemador vertical y 5 horas en el horizontal.
- Una buena sincronización de los tiempos de colado y permanencia de las ollas en el *LF*, es la manera más efectiva de evitar que la olla nueva pase más o menos tiempo de precalentamiento antes de recibir su primer

colada, logrando con esto, que la temperatura de operación no varíe significativamente. En la figura 35 se observa la curva de calentamiento que debe tener una olla de refinación antes de entrar en operación.

Figura 35. **Curva de calentamiento de una olla de refinación**



Fuente: FRANCHI, Dolomite. Dolomite su socio para cucharas. p.10.

Como referencia de la temperatura de operación de una olla de refinación, el perfil de temperatura de una olla de dolomita de 220 toneladas, ha sido medido usando un par termoeléctrico dentro del revestimiento refractario a varias distancias de la fase de calor y las conclusiones son las siguientes:

- Luego de aproximadamente 25 horas de precalentamiento con un quemador apropiado, un nuevo revestimiento de dolomita alcanza una temperatura de 950 grados Celsius y una condición estacionaria en la que el calor del quemador es balanceado por la pérdida de calor de la olla.
- Un nuevo revestimiento de dolomita requiere alrededor de 4 ciclos de trabajo antes de alcanzar un estado medianamente estacionario, siempre y cuando la olla sea ciclada rápidamente y pase breves periodos bajo el

quemador. El calentamiento del revestimiento depende del tiempo de contacto del acero con la olla.

- En una olla nueva, según mediciones con un pirómetro óptico, la temperatura de la fase caliente del revestimiento de dolomita desciende rápidamente a cerca de 1 000 grados Celsius en los primeros 20 minutos y luego se enfría lentamente a cerca de 700 grados Celsius en un periodo de 3 horas. Este descenso es especialmente evidente cerca del tope de la olla.

## **5.5. Mantenimiento de válvula Flo-con**

El sistema de válvula deslizante Flo-con, está integrado por partes mecánicas, las cuales requieren un mantenimiento periódico. La seguridad del personal y el éxito de la Acería, dependen de dicho mantenimiento.

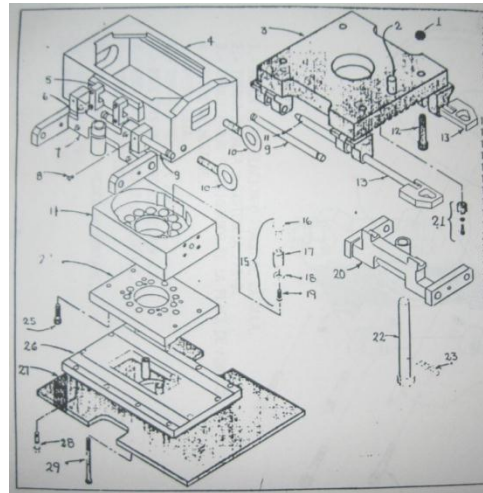
Durante la campaña de la olla, en condiciones normales, las partes mecánicas del sistema Flo-con, están sometidas a:

- Altas temperaturas (sobrecalentamientos)
- Polvo, cal, mortero, basura, grasa
- Escoria, acero
- Golpes
- Deformaciones por el abuso o descuido al utilizar la lanza de oxígeno

Por tal motivo, algunas piezas o partes mecánicas deben de ser reemplazadas periódicamente para evitar desgastes mayores.

Para obtener el nivel de operación óptimo del equipo Flo-con, se recomienda que el mecanismo sea removido de la olla, para su inspección, al finalizar cada campaña, es decir, cuando la olla requiere el cambio total de refractario. La figura 36 muestra las partes que componen una válvula Flo-con, de las que a continuación describiremos su mantenimiento.

Figura 36. **Partes de una válvula Flo-con**



Fuente: Flo-con *Systems*. Traducción del manual general flo-con para ollas. p. 55.

Los simuladores son una magnífica herramienta para detectar el desgaste de partes mecánicas del mecanismo, su funcionamiento es sencillo, proporcionando una referencia del tipo pasa no pasa, al inspeccionar las piezas básicas del mecanismo.

Cuando alguna pieza se encuentra desgastada (fuera de los límites aceptables) debe de ser reemplazada.



Una vez que el mecanismo es removido de la olla y colocado en la mesa de inspección, se debe de enfocar la atención primeramente en la placa de montaje, la cual permanece en la olla. A la placa de montaje se le deben de revisar los siguientes puntos:

- El ranurado de la placa

Debe de estar limpio y libre de protuberancias, es decir, no deben existir salientes que impidan el buen asentamiento de la placa fija de refractario.

- Tornillos imán (magnetos)

Verificar que los cuatro magnetos se encuentren bien posicionados y completos, así mismo se debe de revisar que los imanes operen, es decir, que sujeten la placa fija de refractario, así se encuentran desgastados o incompletos se deben cambiar.

- Tornillos Allen

Revisar que los 4 tornillos Allen que sujetan la placa de montaje, se encuentren completos y bien apretados. El par o torque aplicado a dichos tornillos debe de ser de 150 libra-pie. Las tuercas de dichos tornillos, deben de estar en perfectas condiciones. Si se encuentran con cuerdas rotas o desgastadas, deben de cambiarse.

- Perno guía

Asegurarse que el perno guía no esté desgastado y que se encuentre introducido 1 pulgada en la placa de nivelación o fondo de la olla, según sea el caso.

- Escalón

El escalón de la placa de montaje, debe de revisarse cuidadosamente, verificando que no tenga mortero, escoria, acero, protuberancias o cualquier material que impida la colocación correcta de la boquilla de refractario. Si es el caso, se puede utilizar una lima, para asegurarse que dicho escalón, se encuentra en perfectas condiciones de operación.

- Pernos y tornillo sujetador

Verificar que los 3 pernos sujetadores de la placa fija de refractario se encuentren libres de desgastes o golpes. Así mismo, revisar que el tornillo sujetador funcione adecuadamente.

- Soporte de bisagra

Verificar que estos soportes de la placa de montaje no tengan un desgaste mayor a 0,020 pulgadas. Recuerde que el diámetro nominal de los mismos es de 0,755 pulgadas.

A esta placa se le realiza mantenimiento cada año. Con objeto de proporcionar un mantenimiento eficiente del mecanismo, es necesario desarmarlo totalmente, limpiarlo, inspeccionar cada pieza, cambiando las que

tengan excesivo desgaste y armarlo de nuevo. Se recomienda que cada vez que se le de mantenimiento al mecanismo, se tenga a la mano el plano con el ensamble general, con el objeto de facilitar la operación de armado y desarmado.

A continuación, se verán por separado los puntos a revisar del resto de las partes que integran el mecanismo.

- Bastidor

El bastidor debe de estar perfectamente limpio y libre de abombamientos o deformaciones. Revisar que no haya excesivo desgaste en la parte interior del bastidor, especialmente la presencia de grietas o ranuras. Si existen grietas con el interior del bastidor, significa que debido al desgaste, este se encuentra descuadrado o desalineado, repercutiendo lo anterior, en una restricción del movimiento del carro, es decir, durante la colada, cuando se requiere abrir o cerrar la válvula, el carro puede atorarse, impidiendo el movimiento, o deslizarse en forma no continua (a brincos).

- Carro

El carro debe de limpiarse e inspeccionarse. Revisar que no existan grietas o deformaciones que impidan el movimiento normal del mismo. Los orificios para los resortes deben de revisarse y asegurarse de que se encuentren completamente libres, con el objeto de que el aire de enfriamiento circule libremente. Después de limpiar el carro, ya que se instale de nuevo, revisar que el aire circule libremente a través de cada uno de los orificios de los resortes.

- Tapa del carro

Al igual que el carro, la tapa del carro debe de limpiarse e inspeccionarse. La tapa del carro tiene dos rieles o superficies endurecidas para minimizar el desgaste. La superficie endurecida (rieles) se logra mediante la aplicación de una soldadura especial que debido a su dureza desde el momento de ser aplicada se agrieta. Esto no debe ser motivo de preocupación, ya que las grietas en los rieles no se amplían o multiplican con el uso, permanecen igual todo el tiempo. Sin embargo, es importante revisar periódicamente los desgastes de dichos rieles. El espesor de la tapa del carro, incluyendo la superficie endurecida, mide 1,05 pulgadas y el máximo desgaste aceptable es de 0,050 pulgadas.

Debe de estar libre de polvo, basura, mortero, etc. Con el objeto de asegurar un desplazamiento correcto.

Se le deben de revisar todos y cada uno de los tornillos, reemplazando los rotos o desgastados, asegurándose de que todos queden bien apretados.

- Tapa de bastidor

La tapa del bastidor debe de limpiarse e inspeccionarse. La tapa del bastidor, al igual que la tapa del carro, está equipada con dos rieles de superficie endurecida, estos deben estar libres del polvo, rebabas, mortero, acumulamientos de grasa, etc., con el objeto de asegurar un desplazamiento correcto. Se deben de revisar todos y cada uno de los tornillos, reemplazando los rotos o desgastados, asegurándose de que todos queden bien apretados. El par de apriete que debe aplicarse a los tornillos de la tapa del bastidor es de 40 libra-pie. Si el mecanismo es del tipo serie II, este debe de ser de 80 libra-pie.

- Escudos protectores

Los escudos protectores son piezas que con frecuencia requieren algo de mantenimiento. Normalmente son golpeados, sufren deformaciones, salpicaduras de acero, etc., por lo que requieren de ciertas revisiones.

Se deben de revisar todos y cada uno de los tornillos, reemplazando los rotos o desgastados, asegurándose de que todos queden bien apretados.

Debido a que los escudos protectores son la parte más cercana al acero líquido, de ordinario son salpicados de acero. Se recomienda remover dichas salpicaduras con frecuencia, con el objeto de que el escudo móvil pueda desplazarse libremente. Para facilitar el remover las salpicaduras de acero del escudo protector, se sugiere cubrir este, con una capa de mezcla refractaria, que puede ser algún mortero económico, de esta forma, la salpicadura de acero no se adhiere a la placa de acero del escudo protector.

Los escudos protectores no son simplemente una placa de acero de cualquier dimensión, estos fueron diseñados en base a estudios para cumplir una función específica: proteger de irradiación excesiva de calor al mecanismo y evitar que las salpicaduras de acero interfieran con el buen funcionamiento del mecanismo.

- Resortes

Todos los resortes que se encuentran en operación (área de trabajo) deben de ser revisados periódicamente, de los siguientes dos aspectos:

- Deben de tener la presión mínima requerida. La presión mínima de operación varía con el tipo de resorte y/o modelo de mecanismo.
- Revisar que el tornillo que sujeta cada resorte, se encuentre bien apretado, con el objeto de que este último no se suelte durante la operación.

Las presiones de los resortes se pueden observar en la tabla XXIX

Tabla XXIX. **Presiones de trabajo de resortes de válvula Flo-con**

Rango de presión (psi)	Diagnostico	Decisión a tomar
800 – 900	Presión normal	Continuar vida útil.
700 – 800	Presión regular	Disminuyendo, mantener en control.
< 700	Presión baja	Cambiar el resorte.

Fuente: elaboración propia.

Son 11 resortes, divididos en 6 y 5, 6 en el área de mayor calentamiento y 5 en el área opuesta. Los resortes se rotan de área, con el objeto de hacerlos desgastarse homogéneamente. La vida útil promedio de cada uno de estos es de aproximadamente 500 coladas. Los resortes que no cumplan con la presión mínima requerida, deben de ser retirados del área de trabajo para evitar que por una confusión sean utilizados de nuevo.

- Bisagras y candados

A las bisagras y candados se les debe de revisar lo siguiente:

- Quitar todo exceso de grasa y salpicaduras de acero, es decir, asegurarse de que se encuentren en perfecto estado de limpieza.
  - Rectificar que tanto bisagras, como candados y pernos no se encuentren pandeados o deformados, si este es el caso, deben de ser reemplazados.
  - Rectificar que las bisagras, candados y pernos se encuentren dentro de las tolerancias mínimas de desgaste. Si alguna pieza se encuentra fuera de la tolerancia mínima de desgaste, esta debe ser reemplazada
- Barra conectora

Esta no es más que el pistón que le da el movimiento a la placa móvil por medio del sistema hidráulico. A esta se le deben de revisar los siguientes puntos:

- Existe un tamaño (longitud) de barra conectora para cada acería. Dicha longitud es muy importante, ya que asegura que cuando así se requiera, los orificios de descarga de las placas de refractario coincidan y cuando se requiera detener el flujo de acero, se logre llevar a cabo sin complicaciones.
- Revise que no existan grietas o deformaciones tanto en la parte exterior como interior de la barra conectora.

- Que los tornillos Allen, los cuales sujetan el ensamble completo de la barra conectora se encuentren completos y bien apretados. El par de apriete es de 60 libra-pie.
- Revise que la línea de alimentación de aire para refrigeración se encuentre libre de taponamientos y que no tenga fugas.
- Que el movimiento de la rótula no sea forzado, es decir, que se logre mover en cualquier dirección libremente.
- Ensamble de palanca

Puntos a revisar del ensamble de palanca:

- Revise que las barras o pernos del ensamble de palanca no presenten grietas o deformaciones. Si este es el caso, deben de ser reemplazadas.
- Como se mencionó al inicio, ya una vez que ha inspeccionado, limpiado, engrasado y reemplazado piezas dañadas, con la ayuda del dibujo de ensamble general del mecanismo, proceda a armarlo de nuevo.
- Si un buen mantenimiento es proporcionado al equipo de Flo-con, este le brindara excelente servicio por muchos años.

A estas partes de la válvula, se le realiza mantenimiento cada vez que la olla sale a mantenimiento, esto es, cada 80 coladas aproximadamente.



## CONCLUSIONES

1. Comprender el proceso general de fabricación de acero al carbón permite conocer las tareas relacionadas a una olla de refinación, y también todos los procesos anteriores y posteriores a dichas tareas.
2. La gran variedad de materiales refractarios que se usan en la industria siderúrgica, nos llevan a la necesidad de conocer al detalle, los diferentes tipos de ladrillos, piezas conformadas y materiales complementarios que se utilizan en la operación de una olla de refinación, ya que de estos depende la vida útil de la misma.
3. El equipo que se utiliza en la operación y mantenimiento de una olla de refinación, es poco común, razón por la cual es importante conocer la definición de cada uno, cuáles son sus partes y el funcionamiento de las mismas, de esta forma se podrá comprender sus aplicaciones.
4. La correcta operación de los materiales refractarios de una olla de refinación, permite que esta pase el mayor tiempo posible en servicio, para esto se deben seguir con disciplina, los procedimientos de vaciado y residencia de acero en la olla, así como tomar en cuenta todos los criterios de desgaste de los materiales, y lograr que la limpieza y revisión de los mismos, incrementen su vida de operación.
5. Al igual que cualquier equipo, maquinaria o herramienta, una olla de refinación necesita de mantenimiento, por lo tanto, desechar con los criterios adecuados los materiales refractarios, para luego reemplazarlos y

prepararlos adecuadamente mediante técnicas de calentamiento, garantiza la correcta operación de dichos materiales refractarios y el buen funcionamiento de los equipos, lo cual se refleja en el aumento de su vida operacional.

6. En Siderúrgica de Guatemala, no se cuenta hoy día con información escrita, a la cual se pueda acceder para conocer los diferentes procesos que conforman la fabricación de acero al carbón, por lo tanto, mediante este trabajo, se asegura que tanto técnicos como profesionales, tendrán la capacidad de leer y entender los conocimientos necesarios para poder operar y dar mantenimiento a una olla de refinación empleada para el proceso de fabricación de acero al carbón.

## RECOMENDACIONES

1. Acompañar la lectura de este documento con la observación en campo de los procesos, equipos y materiales refractarios.
2. Conocer al detalle los tipos y las propiedades de los materiales refractarios que componen una olla de refinación, ya que esto permite tomar la decisión en cuanto a la mejor opción de materiales a utilizar.
3. Comprender los criterios de desgaste de material refractario en el proceso de refinación, ya que esto puede evitar una perforación en las paredes de ladrillo de la olla y por ende el derramamiento de acero líquido de la misma.
4. Aplicar los procedimientos de limpieza y revisión de los equipos y materiales refractarios, de esta forma se previene la operación de ollas en mal estado.
5. Apegarse lo más posible a las recomendaciones de los proveedores de materiales refractarios, para lograr con esto, un buen mantenimiento de los equipos y una correcta aplicación de dichos materiales refractarios.
6. Incluir este documento, como parte de la inducción al proceso de técnicos y profesionales de la Acería.

7. Capacitar constantemente por medio de este documento al personal de mantenimiento y operación de ollas de refinación, para que ellos sean parte de la solución cuando se presenten fallas en los equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR AYALA, Saúl. *Curso operación general horno olla*. México: Centro de capacitación IMEXA, 1998. 40 p.
2. AGUILAR RIVAS, Roberto Alejandro. *Características técnicas del acero para la construcción en el nuevo milenio*. El Salvador: Construxpo, 1999. 30 p.
3. BAKER. *Refractories: Introducción a las escorias para fabricación de acero*, México: 4to. Encuentro Siderúrgico, 2000. 68 p.
4. BARROMEX. *Refractarios: Especialidades refractarias*. México: 2do. Congreso de Refractarios, 1994. 49 p.
5. \_\_\_\_\_. *Refractarios: Introducción a la clasificación de los refractarios*. México: 2do. Congreso de Refractarios, 1994. 17 p.
6. CEBA S.R.L. *Estación calentado cuchara horizontal*. Italia: Dolomite Franchi, 2005. 30 p.
7. DE LEÓN LAPARRA, Miguel Angel. *La fabricación de acero en hornos eléctricos de arco en planta sidegua*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999. 99 p.

8. DÍAZ, Carlos Amábilis. *Aspectos generales sobre los refractarios*. USA: Harbison Walker Refractories, 1999. 39 p.
9. DÍAZ TOLEDO, Oscar. *Revestimiento de materiales refractarios para hornos-olla*. México: Refractarios Mexicanos, 1999. 30 p.
10. DIDIER. *El cono de insuflado de laberinto en el sistema de montaje por bloques*. Francia: Didier-Werke AG, 2002. 12 p.
11. FLO-CON. Systems. *Manual general Flo-con para ollas*. México: Oficina de Investigación y Diseño de Mecanismos, 1983. 216 p.
12. FRANCHI, Alberto. *Uso de revestimientos de dolomita en los cucharones de tratamiento*. Brescia: Dolomite Franchi, 1993. 41 p.
13. ININSER. Instalaciones industriales y servicios. *Calentamiento/secado de cucharas* [en línea]. Disponible en Web:<<http://ininser.net/bienes-de-equipo/equipos-auxiliares-para-acerias/calentamiento-secado-de-cucharas/>> [Consulta: 10 de noviembre de 2012].
14. MARTINEZ RÍOS, Jorge A. *Manual de operación de los hornos eléctricos de arco*. México: Refractarios Mexicanos, 2001. 67 p.
15. MINERALS TECHNOLOGIES. *Documento informativo*. USA: MINTEQ Institute, 1998. 15 p.

16. TENA MORELOS, Jorge. *Comportamiento y logros de los refractarios usados en el horno-olla de Tamsa*. México: Instituto Tecnológico de Morelia, Centro de Graduados e Investigación. X Simposio Nacional de Siderurgia, 1988. 42 p.

