

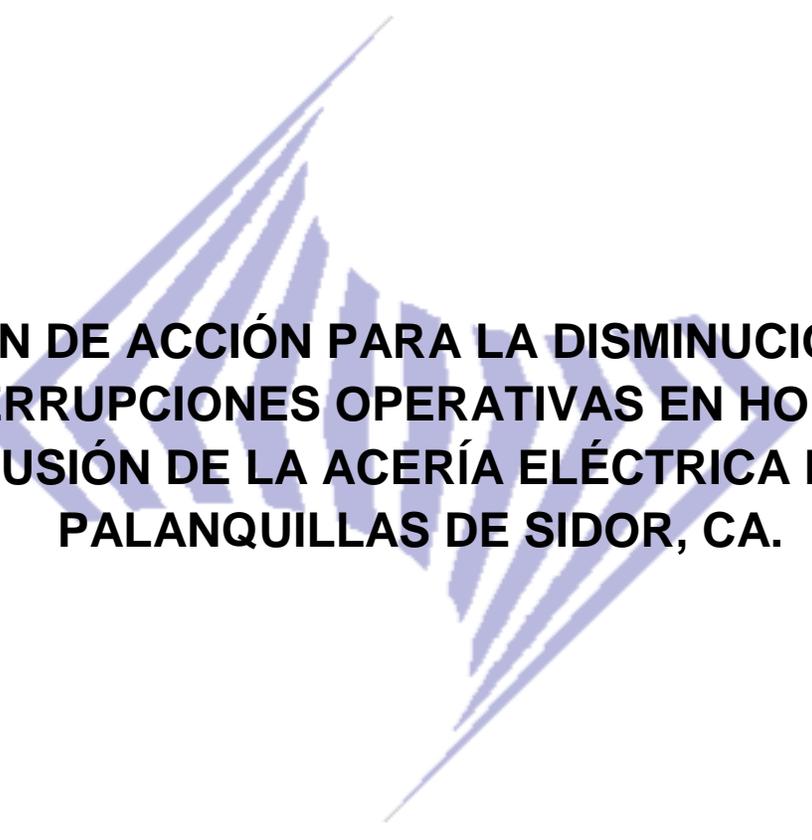
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA

“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”

VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE GRADO



**PLAN DE ACCIÓN PARA LA DISMINUCIÓN DE  
INTERRUPCIONES OPERATIVAS EN HORNOS  
FUSIÓN DE LA ACERÍA ELÉCTRICA DE  
PALANQUILLAS DE SIDOR, CA.**

**Tutor Académico:**

Ing. Pico Jairo

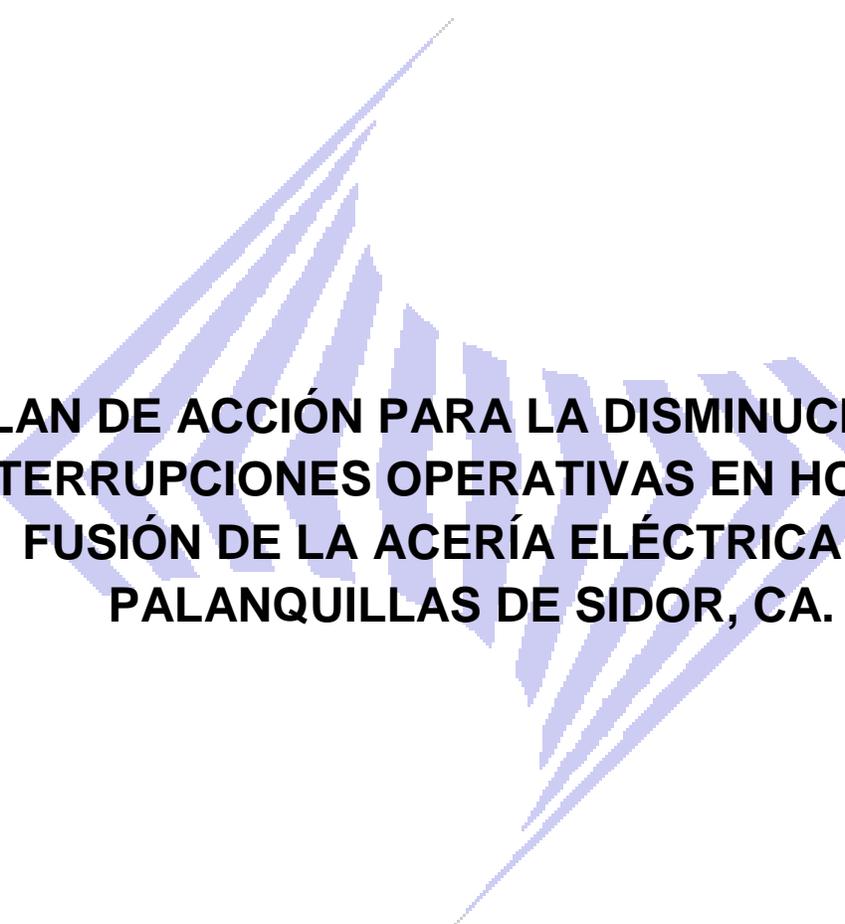
**Tutor Industrial:**

Ing. Palmera Argenis

**Autora:**

Quijada Katusca

**CIUDAD GUAYANA, JUNIO DE 2015.**



**PLAN DE ACCIÓN PARA LA DISMINUCIÓN DE  
INTERRUPCIONES OPERATIVAS EN HORNOS  
FUSIÓN DE LA ACERÍA ELÉCTRICA DE  
PALANQUILLAS DE SIDOR, CA.**

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA

“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”

VICERRECTORADO PUERTO ORDAZ

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE GRADO

**PLAN DE ACCIÓN PARA LA DISMINUCIÓN DE  
INTERRUPCIONES OPERATIVAS EN HORNOS FUSIÓN  
DE LA ACERÍA ELÉCTRICA DE PALANQUILLAS DE  
SIDOR, CA.**

Trabajo de Grado presentado ante el Departamento de Ingeniería Industrial de la UNEXPO Vicerrectorado Puerto Ordaz como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial.

**Autora: Katusca Alejandra, Quijada González**

---

**MSc. Ing. Jairo Pico**

**Tutor Académico**

---

**Ing. Argenis Palmera**

**Tutor Industrial**

**CIUDAD GUAYANA, JUNIO DE 2015.**

## **QUIJADA GONZÁLEZ KATIUSCA ALEJANDRA**

*“Plan de Acción para la Disminución de Interrupciones Operativas en Hornos Fusión de la Acería Eléctrica de Palanquillas de SIDOR, CA.”*

**193 Pág.**

Trabajo de Grado

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Vice- Rectorado Puerto Ordaz. Departamento de Ingeniería Industrial.

**Tutor Académico:** Ing. Jairo Pico.

**Tutor Industrial:** Ing. Argenis Palmera

Ciudad Guayana, Junio de 2015.

Capítulos: I. El Problema. II. Marco de referencia. III. Marco Teórico. IV. Marco Metodológico. V. Análisis y resultados. Conclusiones. Recomendaciones. Lista de Referencias.

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA  
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”  
VICERRECTORADO PUERTO ORDAZ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
TRABAJO DE GRADO

**ACTA DE APROBACIÓN**

Quienes suscriben, miembros del Jurado Evaluador designados por el departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, para evaluar el Trabajo de Grado presentado por la ciudadana: QUIJADA GONZÁLEZ KATIUSCA ALEJANDRA portadora de la cédula de identidad N°20.224.474 titulado: **PLAN DE ACCIÓN PARA LA DISMINUCIÓN DE INTERRUPCIONES OPERATIVAS EN HORNOS FUSIÓN DE LA ACERÍA ELÉCTRICA DE PALANQUILLAS DE SIDOR, CA.** Consideramos que este cumple con los requisitos exigidos, para tal efecto y por tanto lo declaramos: **APROBADO.**

En Ciudad Guayana, Puerto Ordaz, a los 30 días del mes de Junio de 2015.

---

**MSc. Ing. Jairo Pico**

**Tutor Académico**

---

**Ing. Argenis Palmera**

**Tutor Industrial**

---

**Ing. Emerson Suarez**

**Jurado Evaluador**

---

**MSc. Ing. Iván Turmero**

**Jurado Evaluador**



---

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, a mis padres, hermanos, esposo, familiares, amigos, compañeros de estudio, profesores, a mis tutores máximos académico e industrial, y amigos de SIDOR, por su apoyo y aporte al logro de mi meta académica.

Cipriano y Bertha

Fran y Diego

James

Tía Fanny, Gio, Mamá Beda, tía Flor, Ruth, tío Kelmys y Evelin.

Naldo, Arturo, Ale, Ayma, Josué, Antonio, Nina, Rosma, Hilrenita, Daniela, Mayu y Diego.

Gracias totales!!!



---

## DEDICATORIA

A todos los que rezaron por mí, sus oraciones fueron escuchadas.



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA

“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”

VICERRECTORADO PUERTO ORDAZ

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE GRADO

***PLAN DE ACCIÓN PARA LA DISMINUCIÓN DE INTERRUPCIONES  
OPERATIVAS EN HORNOS FUSIÓN DE LA ACERÍA ELÉCTRICA DE  
PALANQUILLAS DE SIDOR, CA.***

**Autora:** Quijada González, Katusca Alejandra.

**Tutor Académico:** Ing. Jairo Pico.

**Tutor Industrial:** Ing. Argenis Palmera.

**Fecha:** Junio de 2015

## **RESUMEN**

El actual trabajo consistió en un análisis de investigación de operaciones para la disminución en los tiempos de las interrupciones operativas en el horno fusión de la acería de Palanquillas de SIDOR, C.A.; éste estudio fue realizado en la Gerencia de Acería de Palanquillas, en el área del Horno Fusión basado en una investigación del tipo proyecto factible, con un diseño no experimental de campo. El recaudo de datos informativos se efectuó utilizando técnicas como la observación directa y fuentes de datos primarias y secundarias; con esta información se procedió a la búsqueda de la situación óptima de trabajo mediante el análisis de línea de espera utilizando el software DS for Windows con el cuales fue posible establecer diferentes métodos de trabajo de algunas interrupciones operativas. Luego, se estudiaron los distintos métodos de trabajos arrojados como resultado de los problemas y en base a esto se efectuó un análisis que permitió el establecimiento de propuestas de operación orientadas a disminuir el tiempo de operación de las interrupciones.

**PALABRAS CLAVES:** Acero, Demora, EBT, electrodo, horno, interrupción, método, palanquillas.



## INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN.....	viii
INDICE DE CONTENIDOS.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I EL PROBLEMA.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
1.3 Alcance.....	6
1.4 Justificación e importancia.....	7
CAPÍTULO II MARCO DE REFERENCIA.....	8
2.1 Identificación de la empresa.....	8
2.2 Generalidades de la empresa.....	9
2.3 Objetivos de la empresa.....	10
2.4 Visión de la empresa.....	11
2.5 Misión de la empresa.....	12
2.6 Estructura organizativa de la empresa.....	12
2.7 Principales instalaciones.....	13
2.7.1 Planta de pellas.....	14
2.7.2 Planta de reducción directa MIDREX.....	15
2.7.3 Planta de reducción directa HyL.....	15
2.7.4 Acería eléctrica y colada continua de palanquillas.....	16
2.7.5 Tren de barras.....	17
2.7.6 Tren de alambrón.....	17
2.7.7 Planta de cal.....	17
2.7.8 Acerías eléctricas y colada continuas.....	18
2.8 Productos que fabrica SIDOR.....	18
2.8.1 Productos primarios.....	18
2.8.2 Productos planos.....	19
2.8.3 Productos Largos.....	22



2.9 Descripción del trabajo.....	24
2.10 Estructura organizativa del Departamento de Palanquillas.....	25
<b>CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
3.1 Antecedentes de la investigación.....	26
3.2 Bases teóricas.....	27
3.2.1 Diagrama de Gantt.....	27
3.2.2 Secuenciación.....	28
3.2.3 Gráfico de control.....	29
3.2.4 Software DS for Windows.....	29
3.2.5 Diagrama de Pareto.....	31
3.2.6 Diagrama de Ishikawa o Causa-Efecto.....	32
3.2.7 Horno de Arco Eléctrico.....	32
3.3 Definición de Términos Básicos.....	86
<b>CAPÍTULO IV MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>89</b>
4.1 Tipo de Investigación.....	89
4.2 Diseño de Investigación.....	92
4.3 Unidades de análisis.....	92
4.3.1 Población.....	93
4.3.2 Muestra.....	93
4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	94
4.4.1 Análisis de Datos.....	94
4.4.2 Observación Directa.....	95
4.4.3 Revisión Bibliográfica.....	96
4.5 Recursos.....	97
4.5.1 Recurso Humano.....	97
4.5.2 Recurso Físico.....	97
4.6 Procedimiento metodológico.....	98
<b>CAPÍTULO V SITUACIÓN ACTUAL.....</b>	<b>99</b>
5.1 Diagrama de flujo del área de acería de palanquillas.....	99
5.2 Diagrama de flujo y/o descripción del proceso de las Interrupciones Operativas más impactantes en el proceso productivo.....	103
5.2.1 Interrupciones Operativas Otras Operativas Horno.....	121
5.2.2 Interrupciones Operativas de Reparación en Caliente.....	124
5.2.3 Interrupciones Operativas de Servicios de Acería.....	124
<b>CAPÍTULO VI ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>126</b>
6.1 Diagnóstico del proceso de elaboración de Acero Líquido en los Hornos Fusión (Horno de Arco Eléctrico) de la Acería de Palanquillas de SIDOR, C.A.....	126
6.1.1 Definición de las interrupciones Operativas.....	128
6.1.2 Componentes de las Interrupciones Operativas.....	128
6.2 Análisis de las Interrupciones que se generan en el proceso productivo...	130
6.2.1 Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto).....	130



---

6.2.2 Impacto de las Interrupciones Operativas.....	136
6.2.3 Toneladas de acero líquido no producido por las Interrupciones Operativas.....	144
6.3 Elaboración de un algoritmo matemático que apunte a la optimización de los tiempos de respuesta ante las Interrupciones Operativas del proceso..	149
6.3.1 Análisis de las interrupciones con el Software DS for Windows 2.0.....	150
6.4 Diseño de planes de acción (propuestas) para reducir el impacto en el proceso productivo, de cada Interrupción Operativa.....	168
CONCLUSIONES.....	171
RECOMENDACIONES.....	174
LISTA DE REFERENCIAS.....	176



## INDICE DE TABLAS

Tablas	Página
2.1 Sistema de Reducción.....	14
2.2 Principales usos de los productos que fabrican.....	24
3.1 Procedimientos de utilización del Software DS for Windows 2.0	30
4.1 Procedimiento metodológico.....	98
5.1 Procedimiento Operativo <i>Alargue de Electrodo</i> .....	107
5.2 Procedimiento Operativo <i>Cambio e Electrodo</i> .....	111
5.3 Procedimiento Operativo <i>Limpieza del EBT</i> .....	113
5.4 Procedimiento Operativo <i>Destape del EBT</i> .....	115
5.5 Procedimiento Operativo <i>Bajando Carbono</i> .....	118
5.6 Procedimiento Operativo <i>Reparación de Bancos</i> .....	121
5.7 Procedimiento Operativo <i>Parchado</i> .....	124
6.1 Voces más resaltantes de las Interrupciones Otras Operativas Horno.....	129
6.2 Voces más resaltantes de las Interrupciones Servicios de Acería.	130
6.3 Impacto de las actividades Otras Operativas Horno.....	137
6.4 Impacto de las actividades Servicios de Acería.....	142
6.5 Cuadro comparativo propuesta 1.....	153
6.6 Cuadro comparativo propuesta 2.....	156
6.7 Cuadro comparativo propuesta 5.....	163
6.8 Cuadro comparativo propuesta 6.....	166
6.9 Plan de acción.....	169



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
2.1 Ubicación física de SIDOR, C.A.....	9
2.2 Organigrama de la Empresa.....	12
2.3 Proceso productivo de Pellas de SIDOR, C.A.....	14
2.4 Sistema de Reducción Directa de SIDOR, C.A.....	15
2.5 Proceso de la Acería Eléctrica y Colada Continua de Palanquillas.....	16
2.6 Planchones.....	20
2.7 Bobinas de chapa laminadas en caliente.....	20
2.8 Bobinas laminadas en frío.....	21
2.9 Hojalata.....	22
2.10 Palanquillas.....	22
2.11 Alambrón.....	23
2.12 Cabillas.....	23
2.13 Ubicación de la acería de Palanquillas.....	25
2.14 Estructura organizativa del departamento de Palanquillas.....	25
3.1 Cuba del horno eléctrico, piqueta frontal (sin refrigerado).....	36
3.2 Fusión y oxidación del acero en el horno de arco y desescoriado de la escoria segunda reductora en la cuchara.....	36
3.3 Cuba de Horno de Arco Eléctrico-E.B.T. con refrigeración por agua	37
3.4 Fusión y oxidación del acero en el horno de arco y retención de la escoria primera oxidada en el propio horno por EBT.....	37
3.5 Método del taponado. Sistemas de retención de escoria negra oxidada dentro del horno, evitando su caída a la cuchara.....	39
3.6 Bóveda y parte superior de la cuba del horno de arco.....	44
3.7 Bóvedas de horno de arco.....	45



<b>3.8</b>	Bóveda fija y carga por la puerta de trabajo.....	47
<b>3.9</b>	Carga de horno por bóveda desplazable.....	49
<b>3.10</b>	Carga de horno por bóveda pivotante.....	50
<b>3.11</b>	Desplazamiento de la bóveda en horno eléctrico de arco.....	51
<b>3.12</b>	Cestas de carga.....	53
<b>3.13</b>	Cesta de carga de horno de arco pequeño o medio. (1)Cesta descarga.....	54
<b>3.14</b>	Cesta de carga de horno de arco pequeño o medio. (2) Cesta llenándose..	54
<b>3.15</b>	Pella prerreducidos. Diagrama del aparato IRSID de carga continua al horno eléctrico de arco.....	56
<b>3.16</b>	Pella prerreducidos. Diagrama del aparato Stelco de carga continua al horno eléctrico de arco.....	57
<b>3.17</b>	Pella prerreducidos. Diagrama del aparato TAMSA de carga continua al horno eléctrico de arco.....	57
<b>3.18</b>	Depurador del gas de salida de la bóveda del horno eléctrico de arco.....	59
<b>3.19</b>	Precaentamiento de chatarra en acerías.....	60
<b>3.20</b>	Precaentamiento de chatarra en acerías.....	61
<b>3.21</b>	SMS Verticon para precaentamiento de la carga de horno eléctrico de arco.....	62
<b>3.22</b>	Balance de energía, KWh/T. Verticon Schloemann- Siemag AG.....	63
<b>3.23</b>	Horno de arco y cuba baja Fuchs Systemtechnik en Sheerness Steel.....	64
<b>3.24</b>	Cuba electrolítica para aluminio.....	67
<b>3.25</b>	Horno de cuba abierta y solera conductora para fabricación de ferroaleaciones.....	68
<b>3.26</b>	Electrodo Söderberg.....	69
<b>3.27</b>	Fabricación de electrodos de grafito.....	72
<b>3.28</b>	Brazos Portaelectrodos. Diseño “corto”.....	77
<b>3.29</b>	Mordaza porta-electrodos.....	79
<b>5.1</b>	Flujograma del proceso de la Acería de Palanquillas.....	100
<b>5.2</b>	Diagrama de flujo <i>Alargue de Electrodo</i> .....	106



---

<b>5.3</b>	Diagrama de flujo <i>Cambio de Electrodo</i> .....	110
<b>5.4</b>	Diagrama de flujo <i>Limpieza del EBT</i> .....	113
<b>5.5</b>	Diagrama de flujo <i>Destape del EBT</i> .....	115
<b>5.6</b>	Diagrama de flujo <i>Bajando Carbono</i> .....	118
<b>5.7</b>	Diagrama de flujo <i>Reparación de Bancos</i> .....	120
<b>5.8</b>	Diagrama de flujo <i>Parchado</i> .....	123
<b>6.1</b>	Diagrama Causa-Efecto de las Interrupciones Operativas.....	131
<b>5.2</b>	Resultados de las simulación 1 de <i>Alargue de electrodo</i> .....	151
<b>5.3</b>	Resultados de las simulación 2 de <i>Alargue de electrodo</i> .....	152
<b>5.4</b>	Resultados de las simulación 1 de <i>Cambio de electrodo</i> .....	154
<b>5.5</b>	Resultados de las simulación 2 de <i>Cambio de electrodo</i> .....	155
<b>5.6</b>	Resultados de las simulación de <i>Limpieza del EBT</i> .....	157
<b>5.7</b>	Resultados de las simulación de <i>Destape del EBT</i> .....	158
<b>5.8</b>	Resultados de las simulación 1 de <i>Reparación de Bancos</i> .....	160
<b>5.9</b>	Resultados de las simulación 2 de <i>Reparación de Bancos</i> .....	160
<b>5.10</b>	Resultados de las simulación de <i>Revisión de Cuba</i> .....	161
<b>5.11</b>	Resultados de las simulación de <i>Bajando Carbono</i> .....	162
<b>5.12</b>	Resultados de las simulación 1 de <i>Parchado</i> .....	164
<b>5.13</b>	Resultados de las simulación 1 de <i>Parchado</i> .....	165



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráficos</b>	<b>Página</b>
<b>6.1</b> ABC de las Interrupciones Otras Operativas Hornos.....	138
<b>6.2</b> Impacto de las Interrupciones Reparación en Caliente.....	140
<b>6.3</b> Impacto de las Actividades Servicios de Acería.....	143
<b>6.4</b> Toneladas de Acero no producido por Interrupciones Otras Operativas Horno.....	145
<b>6.5</b> Toneladas de Acero no producido por Interrupciones Reparación en Caliente.....	146
<b>6.6</b> Toneladas de Acero no producido por Interrupciones Servicios de Acería.....	148



---

## INTRODUCCIÓN

La Siderúrgica del Orinoco Alfredo Maneiro es una de las empresas siderúrgicas más grandes de Latinoamérica, ya que produce a partir del mineral de hierro productos siderúrgicos que sirven de materia prima para la empresa automotriz, constructora, metalmecánica, doméstica, ente otras. Unas de las plantas más grandes dentro de las instalaciones de SIDOR son las acerías de planchones y palanquillas. Esta acería está en capacidad de producir palanquillas de bajo, medio y alto carbono, cumpliendo los requerimientos de composición química, calidad interna y calidad superficial, especificados por los clientes y normas aplicables. La fusión se realiza en dos Hornos Eléctricos de Arco, con paneles refrigerados y vaciado excéntrico por el fondo (EBT), con una capacidad nominal de 155 toneladas cada uno, el afino (Metalurgia Secundaria) se lleva a cabo en dos Hornos Cuchara (LF). Para la obtención de la Palanquilla, el acero se hace pasar por dos máquinas de colada continua, a través de moldes refrigerados, de seis líneas cada una. Actualmente SIDOR también cuenta con una sección para el vaciado de lingotes poligonales para el laminado posterior de productos tubulares. Las palanquillas son cargadas en Hornos de Recalentamiento y llevadas a temperatura de laminación, este tratamiento permite, por medio de la oxidación generada, remover pequeños defectos superficiales y ablandar el acero para ser transformado mecánicamente en los laminadores de alambrón y de barras, para obtener el alambrón y las barras con resaltes (Cabillas), respectivamente.

El objetivo de este proyecto es evaluar las actividades generadoras de retraso del proceso de colada continua de la acería de palanquillas.



---

Este trabajo está estructurado por el capítulo I, el problema; el capítulo II, marco de referencia; el capítulo III, marco teórico; el capítulo IV, marco metodológico; un capítulo V, situación actual; un capítulo VI, análisis y resultados; una lista de conclusiones y a su vez recomendaciones.



---

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

Este capítulo se centra en presentar el problema, los objetivos, la justificación del trabajo, y lo que se puede alcanzar con ello. Los objetivos de estudio de esta investigación se centran en el análisis del tiempo de ejecución y del estudio del entorno de la tarea de identificación en el área de acondicionamiento de palanquillas de la acería de SIDOR, CA. Con la finalidad de verificar si existe la necesidad de incrementar la fuerza laboral en el puesto mencionado, para así mejorar la calidad de vida del personal y con esto aumentar la productividad de la planta.

#### **1.1 Planteamiento del problema**

La Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro”, ubicada en las adyacencias de la ciudad de Puerto Ordaz en la zona industrial de Matanzas, estado Bolívar, región sur oriental de Venezuela, es una empresa encargada de fabricar, transformar y comercializar productos de acero semiterminados y terminados de modo eficiente, utilizando tecnología de reducción directa, horno eléctrico y colada continua. Es la principal productora de acero de Venezuela, la región andina y el Caribe y sus productos son de dos tipos: planos (planchones, bobinas y láminas) y largos (palanquillas, barras y alambón).



---

Esta empresa es uno de los complejos más grande de este tipo en el mundo y está dividida en una serie de plantas, estas son: planta de pellas, plantas de reducción directa, acería y colada continua de planchones y palanquillas, laminación en caliente y en frío, tren de barras, tren de alambρόn, instalaciones auxiliares, sistema de control de la contaminación ambiental y sub-estaciones eléctricas. Este estudio se estará desarrollando en la gerencia de aceración, específicamente en las acerías eléctricas de palanquillas.

Actualmente la acería de palanquillas cuenta con dos hornos eléctricos, en los cuales el material de acero es fundido en unión con distintas ferroaleaciones, pasando por diferentes tipos de procedimiento, culminando en la obtención de alrededor 80 palanquillas por colada, las cuales son identificadas y enviadas a los clientes externos o internos.

El problema presente en la acería de palanquillas radica en las interrupciones al proceso productivo, debido a paradas intempestivas de los equipos productivos (demoras), ocasionando pérdidas de producción. Lo anterior genera pérdidas de producción, retrasos significativos en despachos de producto terminado e incremento en el costo específico del producto. En resumen, las interrupciones (demoras) en el proceso productivo, tienen un efecto negativo que se debe disminuir.

Este estudio se llevó a cabo en la acería de palanquillas con la finalidad de minimizar los tiempos de interrupciones operativas que generan retrasos en el proceso de trabajo de la maquinaria instalada, para que de ésta manera se optimice el tiempo efectivo de producción (tiempo neto) en la acería de palanquillas de SIDOR C.A. De no dirigir esfuerzos en pro de la disminución del



---

tiempo total de interrupciones operativas (y de las no operativas), se agravará la tendencia de la reducción en el volumen de producción.

Con base a lo anteriormente planteado, surgen las siguientes interrogantes:

¿Cuál es la situación actual del proceso de elaboración de palanquillas en la Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro”?

¿Cuáles son las interrupciones que generan más demora en el proceso?

¿Mediante cuál modelo se debería analizar los procedimientos de las interrupciones para reducir los tiempos?

¿Cuáles son las medidas a tomar para el cumplimiento de la minimización del tiempo de las interrupciones operativas?

## **1.2 Objetivos**

Los objetivos indican cuáles son las metas de conocimiento a alcanzar, es decir, a qué resultados se quiere llegar.



---

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar un de plan de acción para la reducción de los tiempos de las interrupciones operativas de los hornos fusión de la Acería Eléctrica de Palanquillas de SIDOR, CA.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

1. Diagnosticar el proceso de elaboración de acero líquido en los hornos fusión de la Acería de Palanquillas de la Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro”.
2. Analizar las interrupciones que se generan en el proceso productivo.
3. Estructurar un algoritmo o modelo matemático que apunte a la optimización de los tiempos de respuesta ante las interrupciones operativas del proceso.
4. Diseñar planes de acción por cada tipo de interrupción operativa para reducir su impacto en el proceso productivo, tomando como base los resultados del modelo matemático.

### **1.3 Alcance**

En esta investigación se analizaron los tiempos de interrupciones operativas de los hornos fusión de la acería de palanquillas, con la finalidad de evaluar la naturaleza de dichas interrupciones por medio de problemas de secuenciación y así diseñar un método de trabajo que permita minimizar estos tiempos y optimizar los tiempos productivos de la acería.



---

#### **1.4 Justificación e importancia**

Este estudio tiene como objetivo evaluar las actividades generadoras de retraso del proceso de colada continua de la acería de palanquillas de SIDOR, CA. Con la finalidad de optimizar el tiempo total de procedimiento de toda la maquinaria instalada en la acería de palanquillas, disminuyendo los tiempos de interrupciones operativas.

De esta manera se podrá brindar a la empresa beneficios en cuanto a cantidad de producción de materiales largos al año, obteniendo así mayor remuneración salarial satisfaciendo las necesidades de la fuerza laboral de la acería de palanquillas, y mejorando directamente su calidad de vida.



---

## CAPÍTULO II

### MARCO DE REFERENCIA

El marco de referencia o marco teórico tiene el propósito de dar a la investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permitan abordar el problema. En este se trata de integrar al problema dentro de un ámbito donde éste cobre sentido, incorporando los conocimientos del lugar donde se presenta como una descripción que va de lo macro a lo micro, es decir, se muestra la situación actual de la empresa, la descripción del área donde específicamente se tiene el problema, se detalla también el trabajo a realizar y el proceso en el cual se presenta dicho problema. De igual manera se presentan un glosario de palabras con la finalidad de facilitar el entendimiento de procesos y acciones con las cuales se trabajan.

#### **2.1 Identificación de la empresa**

SIDOR es la principal siderúrgica de Venezuela, de la región Andina y del Caribe. Se encuentra ubicada en el estado Bolívar, en Ciudad Guayana, al sureste de Venezuela, en la Zona Industrial Matanzas sobre el margen derecha del río Orinoco, a unos 17 km de su confluencia con el río Caroní y a 300 km de su desembocadura en el Océano Atlántico.



La siderúrgica del orinoco se encuentra ubicada en un sitio estratégico por razones económicas y geográficas, que le permite conectarse con el resto del país por vía terrestre y por vía fluvial – marítima con el resto del mundo. Teniendo como ventaja la cercanía con los cerros Bolívar y Pao en los que se encuentra el mineral de hierro. (Figura 2.1).

**Figura 2.1:** Ubicación física de SIDOR C.A.



**Fuente:** Intranet SIDOR C.A.

## 2.2 Generalidades de la empresa

La Siderúrgica del Orinoco Alfredo Maneiro SIDOR C.A es una empresa venezolana que se dedica fundamentalmente a transformar el mineral de hierro para obtener productos de acero semielaborados y elaborados de alta calidad en forma eficiente, competitiva y rentable, destinados a satisfacer la demanda



---

del mercado nacional e internacional; empleando para ello alta tecnología en lo que se refiere a Reducción Directa, y Hornos Eléctricos de Arco.

El proceso productivo de esta empresa se inicia desde la fabricación de pellas y culminan con la comercialización y venta de productos finales, estos son de dos tipo: largos (Barras y Alambrón) o Planos (Láminas en Caliente, Láminas en Frío y Recubiertos), estas ventas pueden ser a nivel del mercado nacional e internacional. Para cumplir con su proceso productivo, SIDOR se abastece de energía eléctrica generada en las represas de Macagua y Guri sobre el río Caroní, y su vital proveedor de materia prima es Ferrominera del Orinoco, así como de gas natural proveniente de los campos petroleros del oriente venezolano. SIDOR produce acero a partir de un mineral de alto contenido de hierro, 80% de hierro de reducción directa y 20% máximo de chatarra, utilizando la vía de reducción directa, hornos eléctricos de arco y colada continua, lo que ayuda a la elaboración de un acero de bajo contenido de impureza.

SIDOR tiene la responsabilidad de satisfacer las necesidades de sus clientes y mantener estándares mundiales de calidad en sus productos, bajo la norma ISO 9001, que afirman su competitividad en los mercados internacionales.

### **2.3 Objetivos de la empresa**

La Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro”, tiene como objetivo fundamental la fabricación y comercialización de productos de acero de alta calidad de modo eficiente, competitivo y rentable, utilizando para ello alta tecnología referente a Reducción Directa y Hornos de Arco Eléctrico.



---

Aprovechando los yacimientos del mineral de hierro ubicados en la región de Guayana.

SIDOR es una empresa dedicada a procesar mineral de hierro para adquirir productos de acero destinado principalmente a:

- Optimizar los beneficios de la empresa mediante la venta de sus productos, cumpliendo con los requisitos del mercado y prestando a sus clientes el mayor servicio.
- Procesar el mineral de hierro para obtener productos semi-elaborados y productos acabados de acero, los cuales son destinados a cubrir la demanda del mercado nacional y gran parte del mercado internacional.
- Una mayor participación de la industria del hierro y del acero en la economía nacional y regional.
- Optimizar la producción en función de las exigencias, requerimientos y necesidades del consumidor en cuanto a volumen, calidad y costo.
- Alcanzar una estructura financiera sana, tomando en cuenta las necesidades de la empresa y las políticas financieras del país.

#### **2.4 Visión de la empresa**

Ser la empresa siderúrgica líder de América, comprometida con el desarrollo de sus clientes, a la vanguardia en parámetros industriales y destacada por la excelencia de sus recursos humanos. SIDOR tendrá estándares de competitividad similares a los productores de acero más eficientes y estará ubicada entre las mejores del mundo.



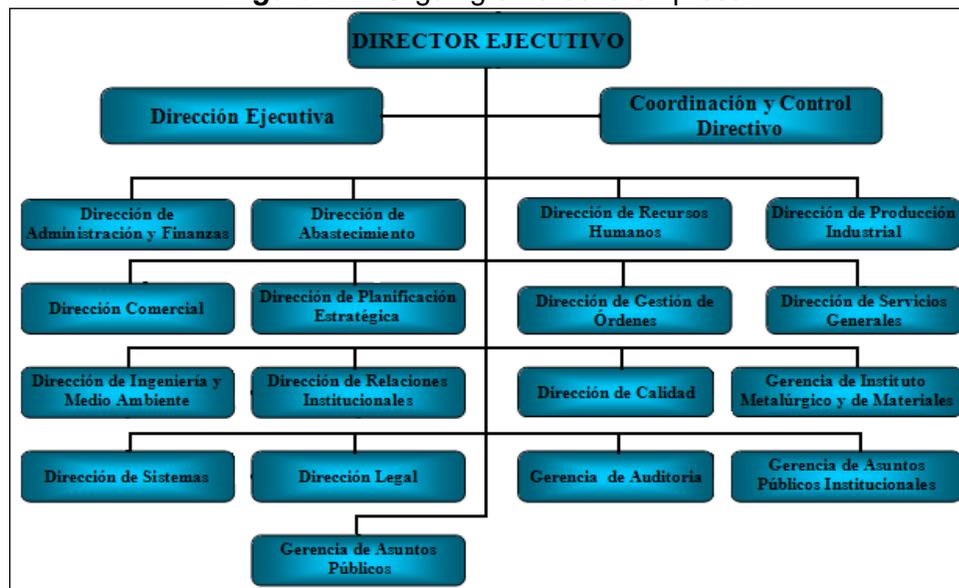
## 2.5 Misión de la empresa

Crear valor con el clientes, mejorando la competitividad y productividad conjunta, a través de una base industrial y tecnológica de alta eficiencia y una red comercial global. Promoviendo la calidad en todas sus manifestaciones, como una manera de certificar la confiabilidad de sus productos, la prestación de servicios y la preservación del medio ambiente. SIDOR está dedicada a la elaboración de productos de acero, largos y planos destinados básicamente al mercado venezolano y a la exportación.

## 2.6 Estructura organizativa de la empresa

La siderúrgica del Orinoco Alfredo Maneiro , cuenta con un personal gerencial, técnico y obrero, y una estructura organizativa conformada por las Gerencias Generales, las Gerencias Operativas y las Administrativas. (Figura 2.2).

**Figura 2.2:** Organigrama de la empresa.



**Fuente:** Intranet SIDOR C.A.



---

## 2.7 Principales instalaciones

SIDOR C.A ocupa una superficie de 2.838 hectáreas, cuenta con una extensa red de comunicaciones 74 km de carreteras asfaltadas, 132 km de vías férreas y acceso al mar por el Terminal portuario (muelle de SIDOR), éste tiene una longitud de 1.037 metros y 44 bitas de amarre a 25 metros de distancia, a tres niveles, las cuales permiten el amarre de seis buques con un peso muerto de 20.000 toneladas y diferentes esloras adaptadas a la fluctuación del río en épocas de sequía o de lluvias.

Asimismo cuenta con edificaciones donde se desarrollan las áreas de soporte al personal (servicio médico, bomberos, comedores y talleres centrales), así como también áreas administrativas.

Además cuenta con una planta de tratamiento de aguas negras, con capacidad de tratar física, biológica y químicamente el agua residual, una planta de briquetas, planta de chatarras, sistemas contra incendios, sistemas de gas, sistemas de combustible y aceite, sistemas de mantenimiento, cintas transportadoras, talleres y almacén. La Siderúrgica del Orinoco en la actualidad cuenta con instalaciones de producción las cuales están compuestas por dos áreas: El área I “Planta Vieja” donde se localizan las Instalaciones originales de la planta estas son:

El Terminal portuario, hornos eléctricos de reducción, fundería, acería Siemens Martín, planta de productos no planos, fábrica de tubos y la planta de productos planos.



El Área II que se conoce como “Planta Nueva o Plan IV” y posee la siguiente capacidad instalada. (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1** Sistema de reducción.

INSTALACIÓN	CAPACIDAD	PRODUCTO
Planta de palatización	7.200 Mt/a	Pellas
Reducción directa: Mildrex (I, II) HyL(II)	3.400 Mt/a 700 Mt/a	HRD

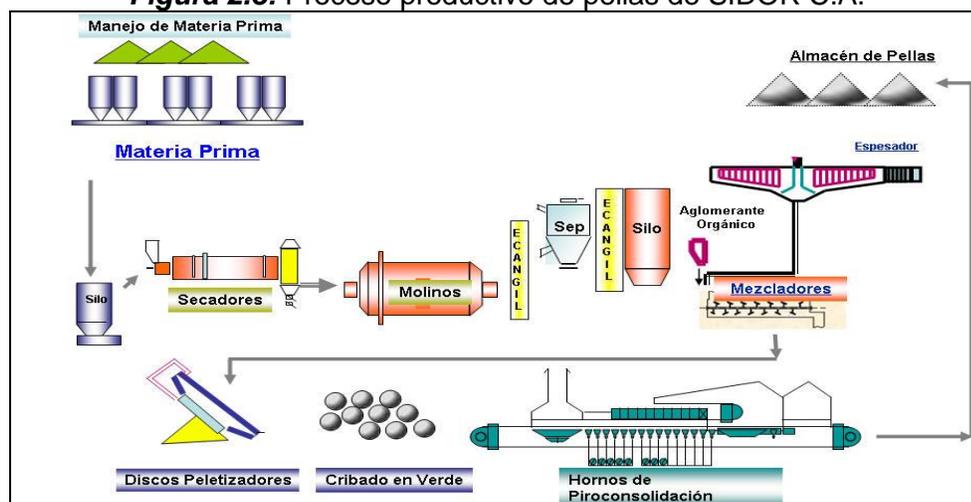
Mt = mil tonelada. a = años

**Fuente:** Intranet SIDOR C.A.

### 2.7.1 Planta de pellas

La planta de peletización fábrica pellas utilizando mineral de hierro fino proveniente del cerro Bolívar, suministrado por CVG Ferrominera del Orinoco C.A. su capacidad nominal es de 6,2 millones de toneladas por año. (Figura 2.3).

**Figura 2.3:** Proceso productivo de pellas de SIDOR C.A.



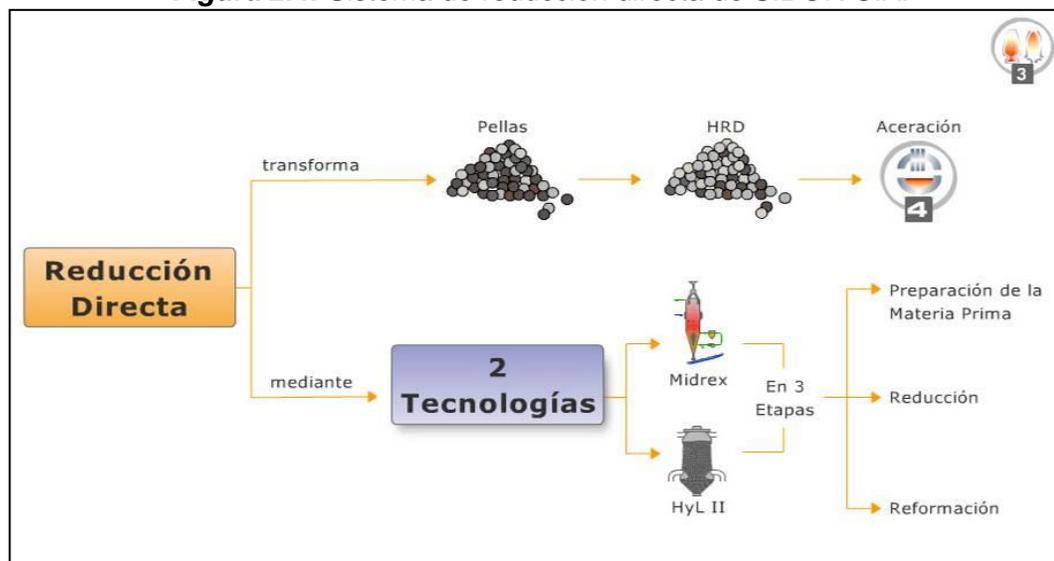
**Fuente:** Intranet SIDOR C.A



## 2.7.2 Planta de reducción directa MIDREX

Compuesta por dos plantas de proceso continuo, con tecnología alemana, denominadas MIDREX I y MIDREX II, una de un módulo que representa a un reactor, y otra de tres módulos. Las capacidades instaladas son de 1,63 millones de toneladas por año. (Figura 2.4).

**Figura 2.4:** Sistema de reducción directa de SIDOR C.A.



**Fuente:** .Intranet SIDOR C.A.

## 2.7.3 Planta de reducción directa HyL

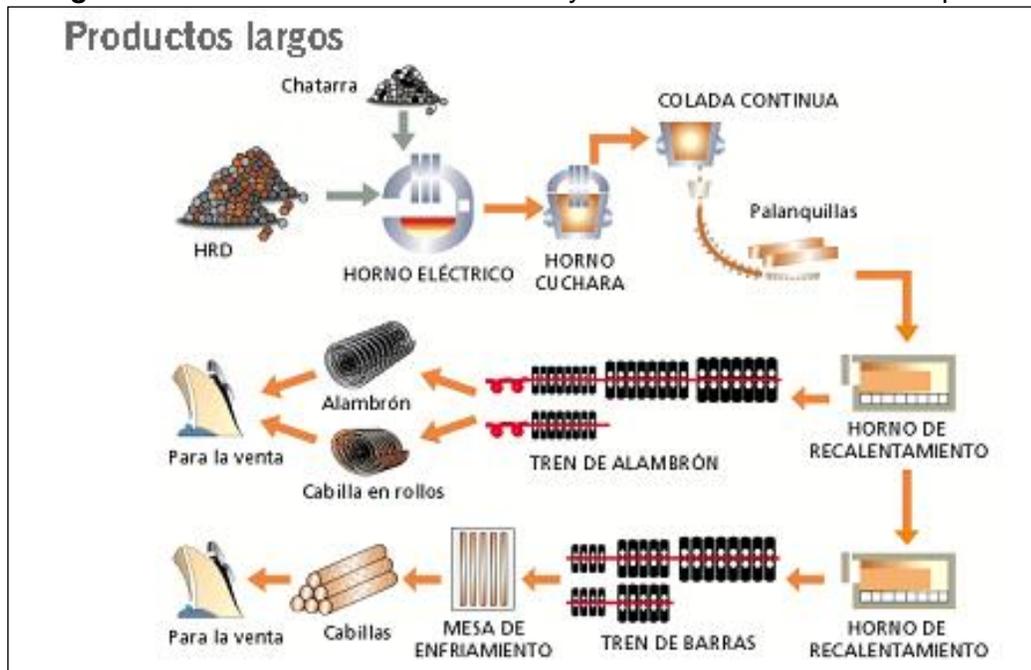
Formada por una planta, con tecnología HYLSAMEX conocida como HyL II, con capacidad instalada de 2.112.000 ton/años. Esta planta tiene como finalidad extraer el oxígeno contenido en las pellas mediante la utilización de un agente reductor a temperaturas menores a las de fusión.



## 2.7.4 Acería eléctrica y colada continua de palanquillas

Esta planta consta de dos hornos eléctricos de arco de 150 toneladas cada uno y sistemas de paneles refrigerados y vaciado excéntrico por el fondo (*EBT: Eccentric Bottom Tapping*), que produce un total de 1.200.000 toneladas de acero líquido por año a partir del hierro de reducción directa, acoplados a dos máquinas de colada continua de 6 líneas cada una con capacidad de 1,12 millones de toneladas de palanquillas al año, además de dos hornos cuchara e instalaciones y equipos auxiliares. (Figura 2.5).

**Figura 2.5:** Proceso de Acería Eléctrica y Colada Continua de Palanquillas.



**Fuente:** Intranet SIDOR C.A.



---

### **2.7.5 Tren de barras**

Su capacidad de laminación por año es de 750.000 toneladas de cabillas, barras lisas, pletinas en acero de calidad comercial y de alta resistencia. La obtención de las barras se logra mediante la carga de palanquillas en mesas de transferencia para luego ser llevadas al horno de calentamiento, laminadas en el desbastador, en el tren intermedio y el tren afinador.

Las barras de construcción o cabillas son productos de acero de sección circular, con resaltes en su superficie. Son fabricadas por SIDOR mediante la laminación en caliente de palanquillas provenientes de sus propias instalaciones. Se utilizan como refuerzo en las construcciones de concreto armado.

### **2.7.6 Tren de alambón**

Su capacidad anual es de 450.000 toneladas métricas de alambón de diferentes diámetros. El proceso inicia con la carga de las palanquillas en las mesas de transferencia para su pase al horno a fin de calentarlas, una vez alcanzada la temperatura requerida, es laminada en el desbastador, en el tren intermedio y en Bloque Morgan donde es obtenido el alambón transferido y enfriado para formar rollos.

### **2.7.7 Planta de cal**

Tiene una capacidad de producción anual de 600.000 toneladas de cal hidratada. Este producto es utilizado como aglutinante en la planta de pellas,



---

para proteger y evitar la sinterización de las pellas en reducción directa, y como fundente en las acerías eléctricas.

### **2.7.8 Acerías eléctricas y coladas continuas de planchones**

La acería eléctrica de planchones cuenta con seis hornos eléctricos (dos fuera de operación), de 200 toneladas por colada, 5 con paneles refrigerados y todos con bóvedas refrigeradas, tres máquinas de colada continua de dos líneas cada una y dos hornos de metalurgia secundaria. La capacidad total es de 2,4 millones de toneladas de acero líquido por año a partir de hierro esponja y chatarra.

## **2.8 Productos que fabrica SIDOR**

### **2.8.1 Productos primarios**

2.8.1.1 Pellas: Es un aglomerado de fino de material de hierro; de forma aproximadamente esférica y granulometría determinada, obtenida con el agregado de elementos aglomerantes, sometidos al final a procesos de endurecimiento.

2.8.1.2 Hierro de reducción directa (HRD): Producto poroso obtenido de la reducción directa de las pellas, que por su grado de metalización es adecuado para emplearse, como un sustituto parcial o total de la chatarra, directamente en los procesos de aceración.



---

2.8.1.3 Cal viva: Producto de la calcinación a elevadas temperaturas, de caliza, cuyo componente principal es el óxido de calcio, y se utiliza como aglutinante en la planta de pellas y como fundente en la acería.

2.8.1.4 Cal hidratada: Producto derivado de la hidratación de la cal viva, cuyo compuesto principal es el hidróxido de calcio; se utiliza en la siderurgia como aglomerante en la elaboración de pellas y en el tratamiento de aguas industriales. SIDOR cuenta con una planta de cal hidratada que tiene una capacidad instalada de 220 mil toneladas métricas anuales.

## 2.8.2 En el Área de Productos Planos

2.8.2.1 Productos semielaborados: Los planchones son productos semi-terminados de acero de sección transversal rectangular, con un área no menor a  $10.300 \text{ mm}^2$  ( $16\text{in}^2$ ), según definición ASTM, con espesor de 175 y 200 milímetros; ancho de 949 a 2.000 milímetros y longitudes entre 5.000 y 12.500 milímetros. Como productos semielaborados, los planchones se utilizan en procesos de transformación mecánica en caliente; siendo su uso más común la laminación de productos planos en caliente. Su utilización está regida por características dimensionales, químicas y metalúrgicas. (Figura 2.6).



**Figura 2.6:** Planchones.



**Fuente:** Intranet SIDOR C.A.

2.8.2.2 Productos terminados: Planos laminados en caliente (LAC), el laminador de productos planos en caliente procesa los planchones, siguiendo prácticas metalúrgicas y operativas que garantizan la obtención de productos de alta calidad. Los productos laminados en caliente se suministran en forma de rollos (Bobinas o Bandas) y/o cortados a longitud específica (Láminas). Se utilizan para fabricar recipientes a presión, tubería soldada, pletinas, piezas automotrices y en la industria metalmecánica en general, en su transformación posterior a productos laminados en frío. (Figura 2.7).

**Figura 2.7:** Bobinas de chapas laminadas en caliente.



**Fuente:** Intranet SIDOR C.A



2.8.2.3 Planos laminados en frío (LAF): SIDOR cuenta con dos laminadores en frío (tándems) para la fabricación de productos de alta calidad. Los productos laminados en frío se suministran en forma de rollo (Bobinas) y/o cortados a longitud específica (Láminas), con la excepción del material crudo (Full Hard) que sólo se suministra en bobinas. Se utilizan en la industria metalmecánica para la elaboración de diversos productos, muchos de uso cotidiano. (Figura 2.8).

**Figura 2.8:** Bobinas laminadas en frío.



**Fuete:** Intranet SIDOR C.A

2.8.2.4 Planos recubiertos (hojalata y hoja cromada): SIDOR cuenta con dos líneas de recubrimiento electrolítico, sometidas a un proceso de mantenimiento intensivo que le permite la obtención de un producto de óptima calidad. La materia prima utilizada en la elaboración de los productos recubiertos es la hoja negra. Los productos recubiertos se suministran en forma de rollo (bobinas) y/o cortados a longitud específica (láminas). Por sus características de resistencia a la corrosión y sus características mecánicas, así como la condición de ser no tóxicos, cobran importancia fundamental en la industria de los alimentos y otras industrias dirigidas a servir a los hogares. (Figura 2.9).



**Figura 2.9:** Hojalata.



**Fuente:** Intranet SIDOR C.A

### 2.8.3 En el Área de Productos Largos

2.8.3.1 Productos semielaborados: Las palanquillas son productos semielaborados de sección transversal cuadrada, mayor o igual  $1.660 \text{ mm}^2$  y menor que  $31.684 \text{ m}^2$ , cuyas longitudes varían entre 3 y 15 m, transformados por laminación o forja en caliente para obtener productos tales como barras lisas y con resaltes, cabillas, alambρόn, pletinas, entre otros. (Figura 2.10).

**Figura 2.10:** Palanquillas.

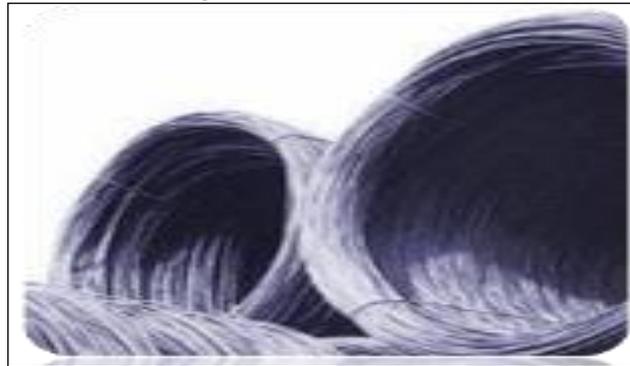


**Fuente:** Intranet SIDOR C.A



2.8.3.2 Productos terminados: El alambρόn es un producto de secci3n transversal circular y superficie lisa, obtenido por laminaci3n en caliente de palanquillas, fabricadas por SIDOR C.A en sus propias instalaciones. Se destina a la transformaci3n por trefilaci3n o laminaci3n en fr3o para la fabricaci3n de una gran variedad de productos. (Figura 2.11).

**Figura 2.11:** Alambρόn.



**Fuente:** Intranet SIDOR C.A

2.8.3.3 Barras con resaltes para la construcci3n (Cabillas): Las barras de construcci3n o cabillas son productos de acero de secci3n circular, con resaltes en su superficie. Son fabricadas por SIDOR C.A mediante la laminaci3n en caliente de palanquillas provenientes de sus propias instalaciones. Se utilizan como refuerzo en las construcci3nes de concreto armado. (Figura 2.12).

**Figura 2.12:** Cabillas.



**Fuente:** Intranet SIDOR C.A



2.8.3.4 Tuberías (sin costuras): Producto de acero que utiliza la industria petrolera para la construcción y minería. En la tabla 2.2, a continuación, se muestran los principales usos de los productos fabricados.

**Tabla 2.2** Principales usos de los productos que fabrican.

ÁREA	PRODUCTO	USOS
<b>PLANOS</b> Laminados en caliente  Laminados en frío Hojalata	Bobinas cortadas a la medida	Tubos soldados, válvulas de presión, partes automotrices, soldaduras metalmeccánica  Línea blanca, galvanizados, techos, Enlatados para la industria de alimentos y bebidas
<b>LARGOS</b> Cabillas / alambrón	Atajos de barras / Rollos de alambrón	Construcción civil Trefilados

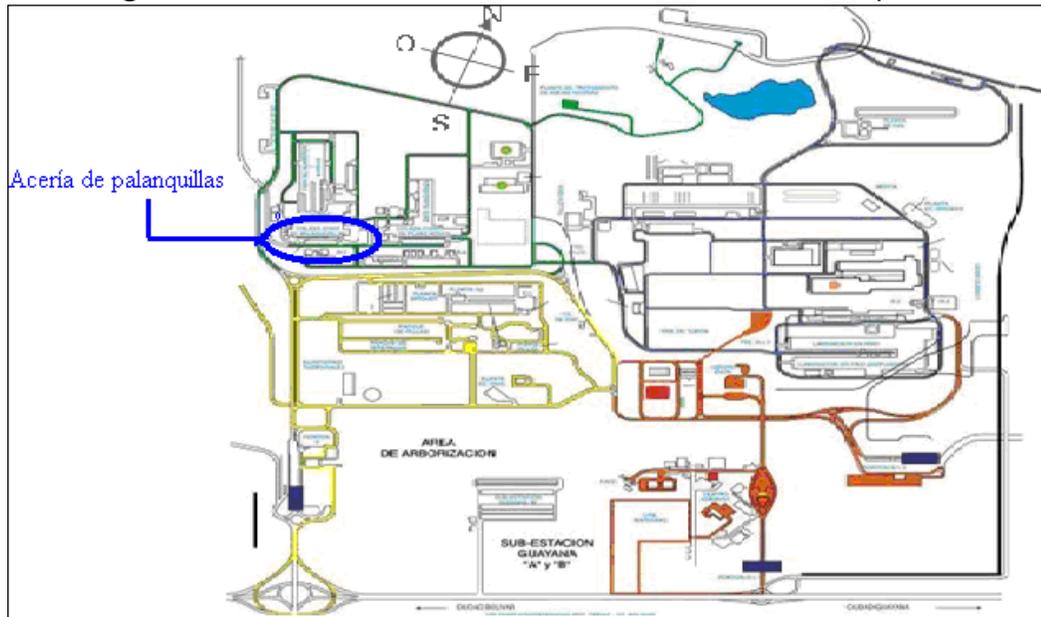
**Fuente:** Intranet SIDOR C.A

## 2.9 Descripción del área de trabajo

La acería de palanquillas se encarga de producir acero líquido, para garantizar la producción en cuanto a la elaboración de palanquillas, buscando la maximización y rentabilidad de la gerencia, en términos de cantidad, calidad, oportunidad y seguridad bajo las condiciones presupuestarias establecidas de acuerdo a los objetivos de la empresa. (Figura 2.13).



**Figura 2.13:** Ubicación de la Acería Eléctrica de Palanquillas.

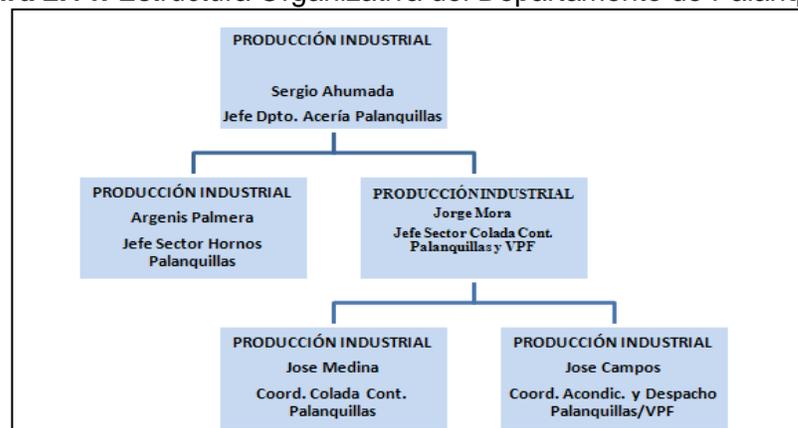


**Fuente:** Intranet SIDOR

## 2.10 Estructura organizativa del Departamento de Palanquillas

A continuación se muestra la estructura organizativa del departamento de acería de palanquillas

**Figura 2.14:** Estructura Organizativa del Departamento de Palanquillas.



**Fuente:** Intranet SIDOR



---

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO

Este capítulo tiene como propósito dar a la investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permitan abordar el problema, es decir, integrar al problema dentro del ámbito donde éste cobre sentido.

#### 3.1 Antecedentes de la Investigación

Adel Presilla (2011) en su trabajo de grado que lleva por nombre: “Diagnóstico de las limitaciones que afectan la secuencialidad en las máquinas de colada continua en acería de planchones en los diferentes productos”. Obtuvo como resultados lo siguiente: La secuencialidad real es de 9.5 coladas por distribuidor, versus la programada de 13.3 coladas por distribuidor, la diferencia es altamente significativa por ser cuatro (4) coladas aproximadamente la pérdida por distribuidor, número que proyectado en el consumo de un año son costos que inciden en la productividad y rentabilidad de la empresa.

Mayerlenis Viamonte (2010) en su informe de pasantía llamado: “Análisis de las causas que limitan la secuencialidad en las máquinas de colada continua en



---

acería de planchones en los productos hojalata y bandas API". Obtuvo como resultados lo siguiente: En los años 2008, 2009 y primer trimestre del año 2010 se realizaron en total para la calidad API: 998 Coladas, en 235 tandas arrojando la secuencialidad real promedio de 4,2. Y para la calidad HOJALATA: 3640 Coladas en 563 tandas con la secuencialidad real promedio de 6,5.

Los trabajos tomados como antecedentes, benefician la investigación actual, ya que, al centrarse en la secuencialidad de ambos proyectos específicamente, se pudo tener una idea clara de la creación de un plan de acción en busca de mejorar un proceso ya existente en un área de trabajo.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Diagrama de Gantt**

El diagrama de Gantt es una herramienta que le permite al usuario modelar la planificación de las tareas necesarias para la realización de un proyecto. El diagrama de Gantt es una herramienta que permite realizar una representación gráfica del progreso de un determinado proyecto, pero también es un buen medio de comunicación entre las diversas personas involucradas en el mismo.

En un diagrama de Gantt, cada tarea es representada por una línea, mientras que las columnas representan los días, semanas, o meses del programa, dependiendo de la duración del proyecto. El tiempo estimado para cada tarea se muestra a través de una barra horizontal cuyo extremo izquierdo determina la fecha de inicio prevista y el extremo derecho determina la fecha



---

de finalización estimada. Las tareas se pueden colocar en cadenas secuenciales o se pueden realizar simultáneamente.

### 3.2.2 Secuenciación

La secuenciación tiene como objetivo encontrar el orden de ejecución de  $n$  trabajos (dependientes o independientes), que requieren una serie de procesos en  $m$  máquinas, de manera que se optimice una medida de desempeño definida para tal fin.

Los problemas de secuenciación se clasifican de acuerdo a:

- a) *El patrón de llegada de los trabajos.* Un problema de secuenciación es *estático* si la producción de  $n$  trabajos diferentes en  $m$  máquinas puede ordenarse e instrumentarse en un solo periodo de tiempo; es *dinámico* si el orden de producción y su implantación se realiza a través de varios periodos de tiempo.
- b) *El número de máquinas.* Existen problemas de secuenciación de  $n$  trabajos ( $n \geq 1$ ) en *una sola máquina* y otros, en  $m$  máquinas ( $m > 1$ )
- c) *De acuerdo al flujo de producción.* Este puede ser en *serie*, si se sigue una ruta preconcebida donde el proceso  $k+1$  precede al  $k$ ,  $k=1,2,\dots,r$ , o bien *aleatorio*, donde no existe una ruta preconcebida de procesos. Los trabajos pueden ser *independientes* unos de otros, o bien puede existir una *interdependencia* entre los mismos. Existen rutas llamadas *generales*, que mezclan los flujos en serie con aleatorios.
- d) *De acuerdo al objetivo que se busca optimizar.* Los problemas de secuenciación pueden optimizar el tiempo total de procesamiento de todos los trabajos en todas las máquinas, o minimizar el retraso promedio de todos los trabajos o de alguno en particular.



---

### 3.2.3 Gráfico de control

Los gráficos de control fueron propuesto originalmente por W. Shewart en 1920, y en ellos se representa a lo largo del tiempo el estado del proceso que estamos monitorizando. En el eje horizontal X se indica el tiempo, mientras que el eje vertical Y se representa algún indicador de la variable cuya calidad se mide. Además se incluye otras dos líneas horizontales: los límites superior e inferior de control, escogidos éstos de tal forma que la probabilidad de que una observación esté fuera de esos límites sea muy baja si el proceso está en *estado de control*, habitualmente inferior a 0.01.

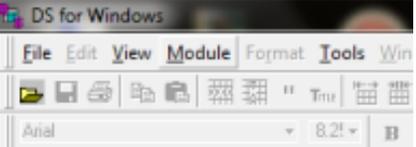
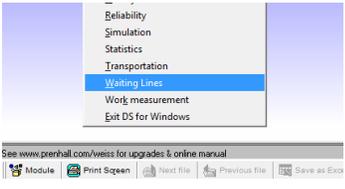
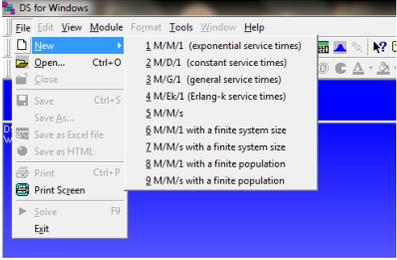
### 3.2.4 Software DS for Windows:

El software *DS for Windows* es un emulador de actividades que ayuda a la resolución de problemas como métodos cuantitativos, producción y operaciones de gestión. Con este software es posible simular situaciones de *Análisis de Decisión, Inventarios, Líneas de Espera, Control de Calidad, Planificación de materiales*, entre otras útiles funciones de optimización.

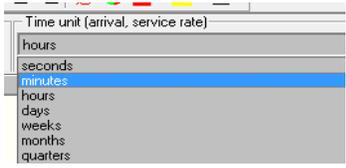
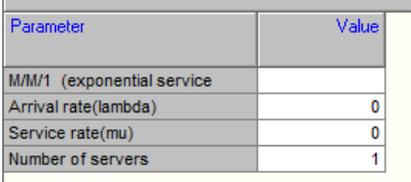
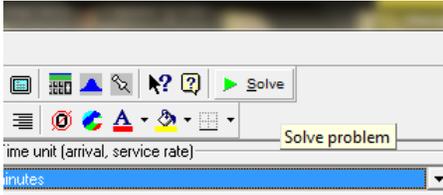
A continuación muestra del procedimiento a realizar en cada uno de los análisis en la tabla 3.1:



**Tabla 3.1:** Procedimiento de utilización del software *DS for Windows 2.0*

<p>Paso N°1: Abrir el Programa DS for Windows 2.0</p>	
<p>Paso N°2: Dirigirse a la barra de tareas y pulsar a la opción "Module"</p>	
<p>Paso N°3: Elegir de entre las opciones de "Module" la de "Waiting Lines" (Linea de espera)</p>	
<p>Paso N°4: Seleccionar un nuevo archivo en "File" → "New"</p> <p>(Se trabajará con M/M/1 y M/M/s)*</p>	
<p>Paso N°5: Al seleccionar el nuevo archivo, saldrá una ventana donde se asignará el nombre "Title" del archivo.</p>	



<p>Paso N°6: En la barra de tareas se selecciona la unidad de tiempo con que se trabajará → “Time unit”</p>											
<p>Paso N°7: Se insertan los datos de “Arrival Rate” (tasa de llegada), “Service Rate” (tasa de servicio) y “Number of Servers” (Número de servidores)</p>	 <table border="1"><thead><tr><th>Parameter</th><th>Value</th></tr></thead><tbody><tr><td>M/M/1 (exponential service)</td><td></td></tr><tr><td>Arrival rate(lambda)</td><td>0</td></tr><tr><td>Service rate(mu)</td><td>0</td></tr><tr><td>Number of servers</td><td>1</td></tr></tbody></table>	Parameter	Value	M/M/1 (exponential service)		Arrival rate(lambda)	0	Service rate(mu)	0	Number of servers	1
Parameter	Value										
M/M/1 (exponential service)											
Arrival rate(lambda)	0										
Service rate(mu)	0										
Number of servers	1										
<p>Paso N°8: Al terminar el paso anterior, se procede a resolver el problema yendo a la barra de tareas y pulsando “Solve”</p>											

\*Se trabajará con M/M/1 cuando solo sea necesario un servidor. Se trabajará con M/M/s cuando se quiera conocer la cantidad óptima de servidores en la tarea.

**Fuente:** Autor

### 3.2.5 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una gráfica donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para clasificar las causas. De modo que se puede asignar un orden de prioridades.

Para la correcta identificación de los “Pocos Vitales”, es necesario que los datos recolectados para elaborar el diagrama de Pareto estén en cantidad adecuada, sean verdaderos y en un periodo de tiempo considerable.



---

Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, se puede decir que el 20% de las causas resuelve el 80% del problema y el 80% de las causas solo resuelve el 20% del problema.

### **3.2.6 Diagrama de Ishikawa o Causa-Efecto**

El diagrama Causa- Efecto es un vehículo para ordenar, de forma muy concentrada, todas las causas que supuestamente pueden contribuir a un determinado efecto. Nos permite, por tanto, lograr un conocimiento común de un problema complejo, sin ser nunca sustitutivo de los datos. Es importante ser conscientes de que los diagramas de causa-efecto presentan y organizan teorías. Sólo cuando estas teorías son contrastadas con datos podemos probar las causas de los fenómenos observables.

Errores comunes son construir el diagrama antes de analizar globalmente los síntomas, limitar las teorías propuestas enmascarando involuntariamente la causa raíz, o cometer errores tanto en la relación causal como en el orden de las teorías, suponiendo un gasto de tiempo importante.

### **3.2.7 Horno de Arco Eléctrico**

El horno de Arco Eléctrico está descrito a continuación.

#### Cuba del horno

Está constituida por una virola vertical y un fondo en forma de casquete esférico. Formada por planchas de acero dulce, antiguamente remachadas,



---

ahora atornilladas o soldadas. Las cubas muy grandes se montan y ensamblan *in situ*. La relación entre el diámetro del baño y su profundidad ha de ser tal que haya buena superficie de interfase metal-escoria para que las reacciones de oxidación sean rápidas y eficaces. La altura de la cuba sobre la línea de flotación de escoria debería ser lo suficientemente elevada para que el horno pueda cargarse de una vez, sin necesidad de recargues adicionales que darían lugar a demoras y pérdidas térmicas. Hoy día esto no es tan fácil, ya que las chatarras suelen tener una densidad global bastante pequeña.

Los hornos pequeños (cada vez más escasos, sustituidos por los de inducción) tienen una sola puerta de carga que sirve como piqueta y puerta de trabajo. Los grandes tienen una piqueta y una puerta de trabajo; en algunos muy grandes hay dos puertas de trabajo, una trasera y otra lateral.

La cuba tiene en su parte superior un anillo sobre el que reposa la bóveda. En algunos tipos este anillo está refrigerado por agua, en circuito cerrado con la puerta y el marco. En algunos casos el anillo es de acero moldeado para evitar deformaciones.

Adheridos a la cuba hay dos sectores de acero moldeado (“cunas”) que ruedan sobre rieles o pistas, también de acero moldeado. Los sectores y pistas llevan dientes o engranajes para evitar deslizamiento de la cuba al bascular, lo cual es muy importante en hornos de colada por piqueta frontal, con fuertes ángulos de inclinación (45°).

A continuación se describen algunos elementos y peculiaridades de la cuba:

#### 1) Puerta de trabajo

La puerta de trabajo tiene un marco de acero moldeado con circulación interna de agua de refrigeración para evitar su desgaste prematuro. La tapa tiene un marco, también refrigerado, en el que se insertan ladrillos refractarios. Tiene una forma ligeramente convexa para adaptarse a la forma cilíndrica de la



---

cuba y para evitar el desplome de los ladrillos refractarios. La apertura y cierre de la tapa se hace con una palanca lastrada con un contrapeso o con una polea y cadena con contrapeso. En hornos grandes la elevación de la puerta es neumática o mecánica, con dispositivos que han de ser fácilmente desmontables. La parte inferior de la puerta va protegida con refractario para evitar ataque por la escoria cuando esta pasa sobre ella durante la operación de desescoriado.

## 2) Sistema de vaciado

Está muy condicionado por la forma de trabajo del horno, especialmente a raíz de la desaparición de la colada a dos escorias (oxidante y reductora) y su sustitución por los hornos UHP y la Metalurgia Secundaria. Estos procesos modernos conllevan la necesidad de colar el acero a la cuchara totalmente libre de escorias. Los sistemas de vaciado se describen superficialmente a continuación:

- Piquera frontal (Figuras 3.1 y 3.2). Es el más antiguo de todos. Presenta la ventaja de su sencillez y ausencia de averías, pero con la desventaja de que la escoria negra oxidada cae con el acero a la cuchara, lo que dificulta extraordinariamente las operaciones posteriores. Sólo se emplea en los casos en que se desea aprovechar la escoria para recuperar elementos de aleación oxidados en ella, como es el caso de la recuperación del cromo en la escoria de la colada de acero inoxidable para ser afinada en convertidor AOD.

- Colada por el fondo (Figuras 3.3 y 3.4). Implantada en todos los hornos desde la pasada década de los setenta. Tiene la gran ventaja de que sólo cae acero a la cuchara puesto que cuando va a caer escoria se corta el chorro. Esto, como se ha dicho, es fundamental para las operaciones de Metalurgia Secundaria.

El primer sistema de colada por fondo fue el de colada concéntrica por el fondo (*Concentric Bottom Tapping, CBT*). En este sistema el agujero de colada



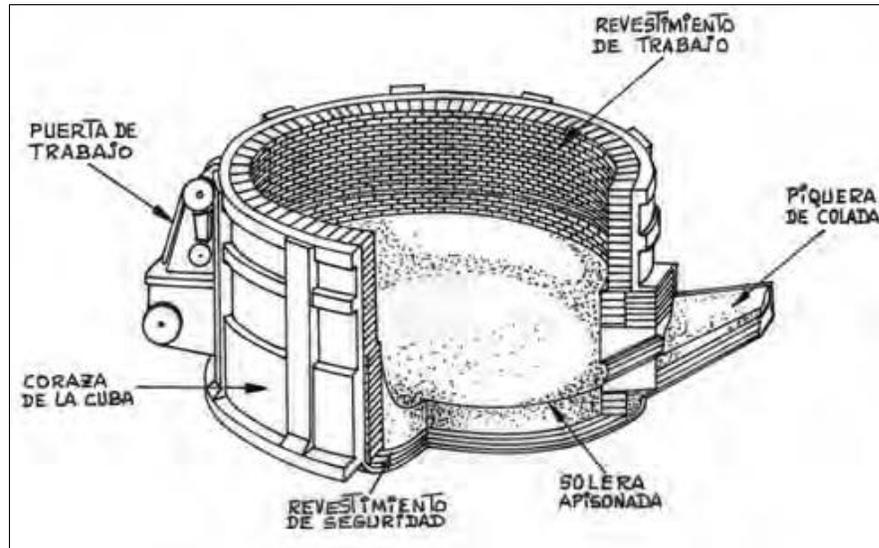
---

está emplazado en el centro geométrico de la solera o fondo, con la ventaja de que no hay que bascular el horno para colar, esto supone simplificación de equipos y ahorro de refractario en cubas refrigeradas. Poco después de su aparición se vio que esta ventaja no era tal porque obligaba a tener vacío el espacio situado bajo el horno para introducir la cuchara. Esta disposición necesita un carro autotransportado para mover la cuchara bajo la vertical del horno y hace al conjunto muy sensible a la temperatura ambiente, especialmente en caso de perforación o fallo del tapón de colada. Esto hizo que fuera rápidamente sustituida por los sistemas excéntricos que se describen a continuación.

Colada excéntrica por el fondo. Hay distintas variantes de detalle, las cuales tienen en común el hecho de que la solera ya no es de planta circular sino oval. Son: *Eccentric Bottom Tapping (EBT)*, *Oval Shell Bottom Tapping (OBT)* y *Energy Optimized (EO-EBT)*. En comparación con el CBT estos sistemas tienen la desventaja (más teórica que real) de que para colar hay que bascular algo el horno. Esto a su vez implica que la altura de la pared protegida por refractario ha de ser mayor (más altura de refractario y, por tanto, mayor consumo) y que obliga a tener mecanismo de basculación. En cambio, presenta la gran ventaja de que en el vaciado la cuchara no ha de estar bajo la vertical del horno, con la consiguiente sencillez y seguridad de la operación.

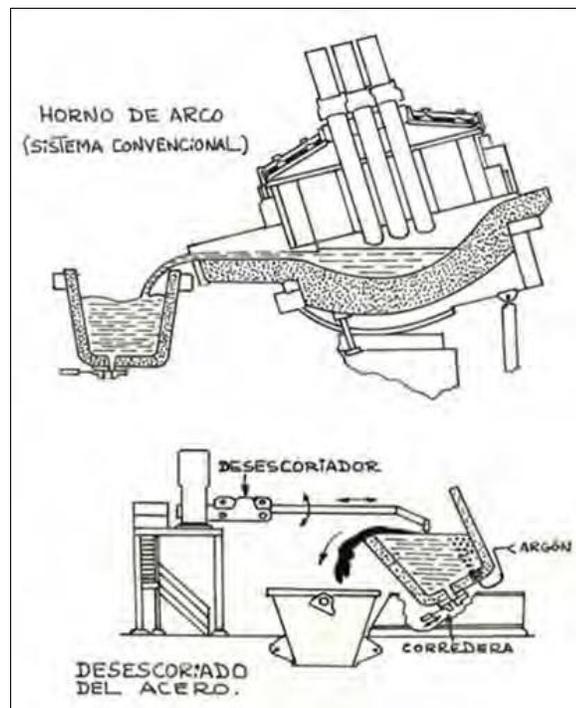


**Figura 3.1:** Cuba de Horno de Arco Eléctrico, piqueta frontal.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

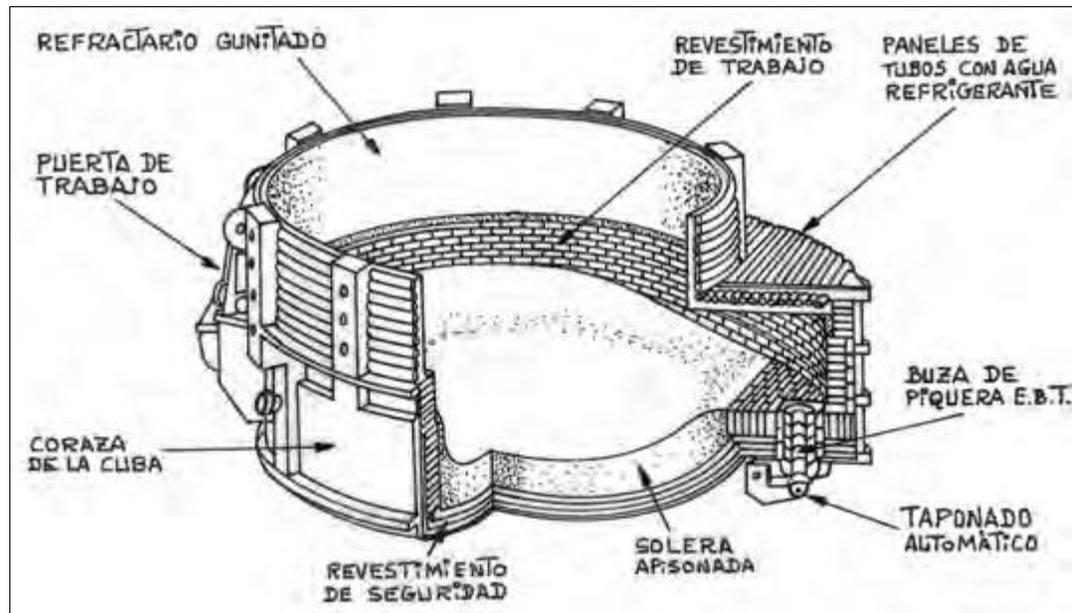
**Figura 3.2:** Fusión y oxidación del acero en el horno de arco y desescoriado de la escoria segunda reductora en la cuchara.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

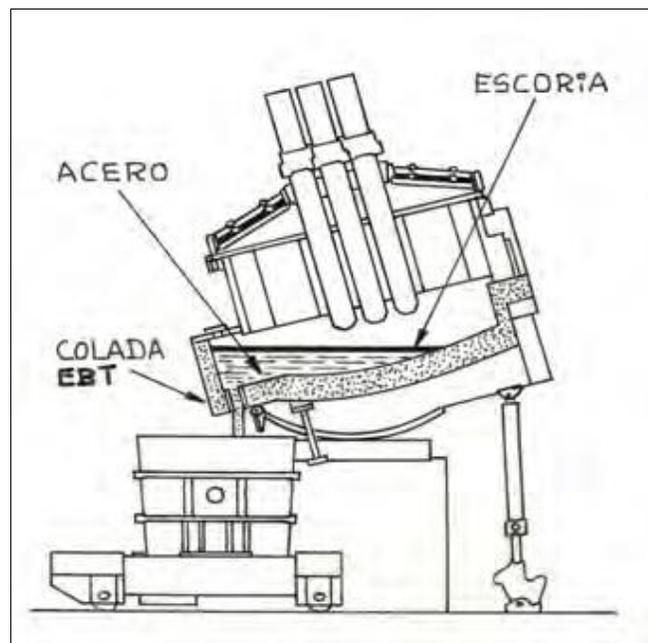


**Figura 3.3:** Cuba de Horno de Arco Eléctrico-E.B.T. con refrigeración por agua



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

**Figura 3.4:** Fusión y oxidación del acero en el horno de arco y retención de la escoria primera oxidada en el propio horno por EBT.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



---

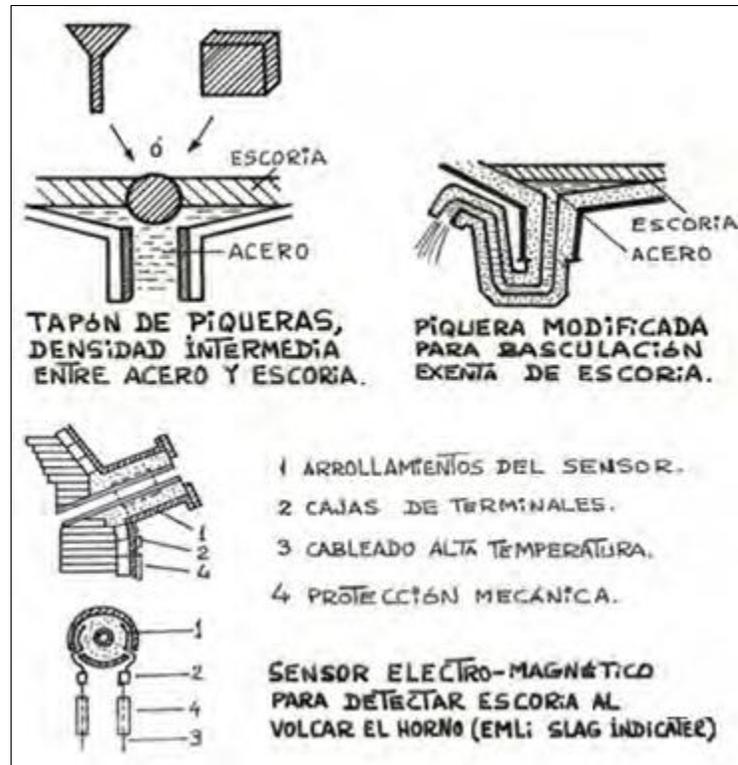
### 3) Métodos de taponado

La marcha de colada en horno de arco tiene dos etapas separadas por un desescoriado. La primera es la fase oxidante y al final de ella queda un acero oxidado que tiene sobre él una escoria en la que se encuentran los óxidos de los elementos que se han eliminado; algunos de ellos, como el fósforo, son especialmente perniciosos para la calidad del acero fabricado. En el momento de la colada por el fondo ha de tenerse especial cuidado para que la escoria oxidada quede en el horno y no caiga a la cuchara ya que frenaría las reacciones de desoxidación y desulfuración y, además, los elementos perniciosos presentes en la escoria (fósforo y otros) retornarían al baño.

Un método sencillo (figura 3.5), que fue el primero que se utilizó, es echar dentro del horno una pieza cerámica refractaria, de forma esférica o troncocónica y cuyas medidas son algo mayores que el diámetro de la piqueta de salida del horno. La densidad de este tapón es intermedia entre las del acero y escoria, de forma que estará situado en la interfase entre ambos elementos del baño. Cuando se ha extraído el acero presente en el horno y va a caer escoria a la cuchara ese tapón queda posicionado sobre el agujero de salida, obturándolo y evitando que caiga escoria con el acero a la cuchara.



**Figura 3.5:** Método del taponado. Sistemas de retención de escoria negra oxidada dentro del horno, evitando su caída a la cuchara.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

Este sistema es sencillo y barato pero su fiabilidad es dudosa pues se basa en que el objeto flotante se posicione exactamente sobre la piqueta durante el vaciado del horno, cosa que no siempre ocurre.

Actualmente el taponado se hace por medios mecánicos con mando a distancia que puede ser manual o electromecánico. Un sistema es el tapón consistente en una plaqueta cerámica refractaria sujeta a un brazo oscilante accionado por un cilindro hidráulico. También es válido el método de buza deslizante utilizado en las cucharas de colada. Puede ser de corredera o guillotina, en el que la plaqueta de cierre se desliza en línea recta, o de revólver, en el que la plaqueta es circular con agujeros de forma que al girar



---

presenta agujero o zona ciega, respectivamente, al orificio de salida. Es muy importante la existencia de un artefacto sensor que avise del paso de escoria en el mismo momento en que comienza a producirse. El sistema que ha dado mejores resultados es el inductivo. Concéntricamente al tubo de salida de caldo hay una bobina, empotrada en el refractario, por la que circula una corriente alterna. A continuación hay otra bobina, también empotrada en el refractario, conectada eléctricamente a un avisador (timbre o lámpara) y al mando a distancia del tapón de piqueta (brazo oscilante, corredera o revólver).

Mientras está pasando acero, este hace el efecto, entre las dos bobinas, del núcleo de un transformador. En consecuencia, en la segunda bobina se induce una corriente. En el momento en que deja de caer acero y comienza a pasar escoria desaparece el efecto de continuidad del núcleo de transformador; ya no hay corriente inducida, circunstancia que por medio de servomecanismos actúa sobre las alarmas y los dispositivos de taponado.

#### 4) Revestimiento de la cuba

Desde el punto de vista de revestimiento la cuba tiene dos zonas, que son la solera y las paredes verticales (figura 3.1 anterior).

Según el tamaño de los hornos, la solera tiene 500 a 1000 mm de espesor. Como en casi todos los hornos, hay un refractario de seguridad, aledaño a la chapa y otro de trabajo que es el que está en contacto con el acero líquido. En los hornos básicos, que son prácticamente la totalidad, tanto la solera como las paredes tienen refractario básico. El refractario de seguridad suele estar constituido por ladrillos de magnesia. El de trabajo puede ser de dolomita calcinada (“dolomía”) de granulometría fina y apisonada en seco, dolomía alquitranada o polvo de magnesita calcinada (“magnesia”) fuertemente apisonada. En algunos hornos grandes el revestimiento de trabajo está



---

constituido por ladrillos de dolomía o magnesia. En los hornos de marcha ácida los refractarios son de sílice. En el caso de las paredes hoy día sólo se recubren con refractario las zonas que están en contacto con el acero líquido o escoria líquida (figura 3.3 anterior). Los refractarios más empleados son:

- Ladrillos de magnesia o magnesia-cromo.
- Ladrillos de magnesia aglomerados químicamente.
- Ladrillos de magnesia aglomerada con alquitrán y cocidos (magnesia-carbono).
- Ladrillos de dolomía.
- Bloques apisonados de dolomía.
- Dolomía granulada alquitranada, gunitada o apisonada contra un molde.

En algunas acerías se han utilizado con éxito ladrillos de magnesia, aglomerada químicamente y compactada a presión, con una envoltura de chapa de hierro. Esta chapa, que está oxidada, funde durante la colada y el óxido líquido formado hace de cemento que une y sella los ladrillos entre sí.

En la línea de flotación de escorias son más adecuados los ladrillos de magnesia porque resisten mejor el ataque de escorias oxidantes constituidas por óxido de hierro. En cuanto a la parte media y superior de las paredes de la cuba, no hay refractario sino paneles refrigerados por circulación de agua. Inicialmente era un solo circuito pero en la actualidad son independientes entre sí para facilitar reparación en caso de avería o perforación. En la cara que da vista al interior al horno estos tubos están protegidos de las salpicaduras de caldo y escoria por un refractario granítico o magnésico gunitado.



## 5) Mecanismo de basculación

En hornos de menos de 4 t/h se emplea un mecanismo de husillo y tuerca orientable. En los tipos más pequeños el husillo se acciona a mano por medio de un volante; en los medianos o grandes el tornillo se mueve por motor eléctrico y una desmultiplicación de engranajes, estando previsto también el accionamiento a mano para casos de avería o corte en el suministro eléctrico. Los husillos están metidos en tubos telescópicos para lubricación y protección contra el polvo y suciedad. Además hay rodamientos de bolas de empuje axial y radial.

Hoy día, los grandes hornos que se implantan tienen sistemas de basculación por cilindro y pistón hidráulico o neumático.

En hornos de piqueta frontal la inclinación del horno es de 45 ° para colada y 30 ° para desescoriado (motor y husillo) o de 45 ° para colada y 15 ° para desescoriado (sistema de pistones hidráulicos). En los hornos EBT de colada por el fondo los ángulos son, lógicamente, menores.

## 6) Sistemas de agitación

Las reacciones de la colada en horno de arco son reacciones de interfase metal-escoria cuya velocidad es función directa del área efectiva de esa interfase. Como la superficie o sección recta del horno de arco no se puede aumentar indefinidamente porque no sería operativo, es preciso encontrar un sistema que aumente esa superficie sin agrandar el horno. Ese sistema es la agitación.



#### a) Agitación magnética

El método más antiguo es el de agitación por una bobina electromagnética adherida a la chapa de la parte inferior del horno, bajo la solera. Por la bobina circula una corriente alterna de baja frecuencia la cual provoca una fuerte agitación magnética en el caldo existente en el horno. Esta agitación genera un contacto eficiente entre el acero y la escoria que flota sobre él, con lo que se aceleran las reacciones metalúrgicas de la colada. Este sistema fue desechado al cabo del tiempo por la complicación y peligro que supone tener componentes eléctricos en una zona de mucho calor, como es el pozo de colada, especialmente en el caso de una perforación del refractario de la solera.

#### b) Agitación por gas inerte

Consiste en insuflar argón o nitrógeno por el fondo del horno. Inicialmente se hacía mediante un tubo de acero pero existía el riesgo, si la presión ferrostática era alta, de que se escapara caldo por el tubo. Después se ensayó con éxito el soplado a través de ladrillos con acanaladuras exteriores; también el tapón poroso. Ambos tipos incrustados en el refractario de la solera.

#### c) Escoria espumosa

Hoy día la agitación que se consigue por formación de escoria espumosa mediante inyección de carbón en polvo y oxígeno ha sustituido a los demás sistemas.

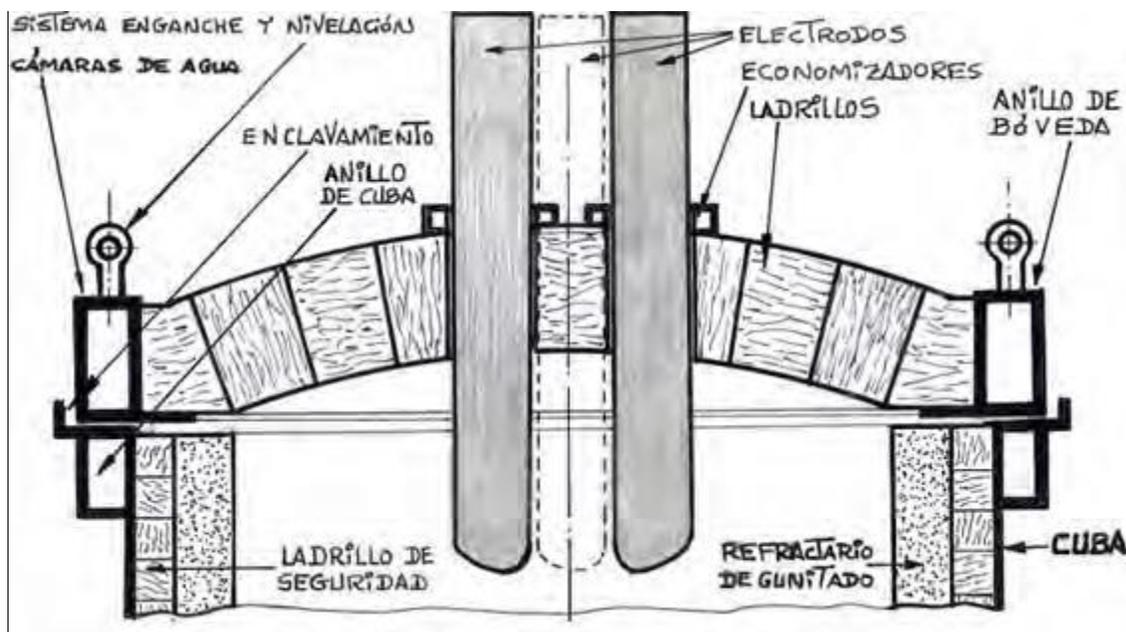
### Bóveda del horno

El anillo de bóveda (figura 3.7) está constituido por un tubo de acero de sección rectangular y paredes muy gruesas. En el interior del tubo circula agua para refrigerar el propio tubo y las piezas refractarias que se apoyan en él, si las hay, alargando su duración. Para evitar deformación térmica el aro tiene



diámetro superior al de la cuba del horno. Los hornos grandes tienen sobre la bóveda una plataforma de visita que puede ser desmontable. Para facilitar el centrado hay cuatro tornillos de fuerte rosca que se enganchan por dispositivos especiales, en brazos rígidos de acero sólidamente sujetos a la pieza superior de las columnas. Esto permite orientar la bóveda en la posición deseada con relación a los brazos portaelectrodos. Durante mucho tiempo la bóveda estaba constituida por ladrillos refractarios; actualmente se hace, al igual que la parte superior de la cuba, refrigerada por agua.

**Figura 3.6:** Bóveda y parte superior de la cuba del horno de arco.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

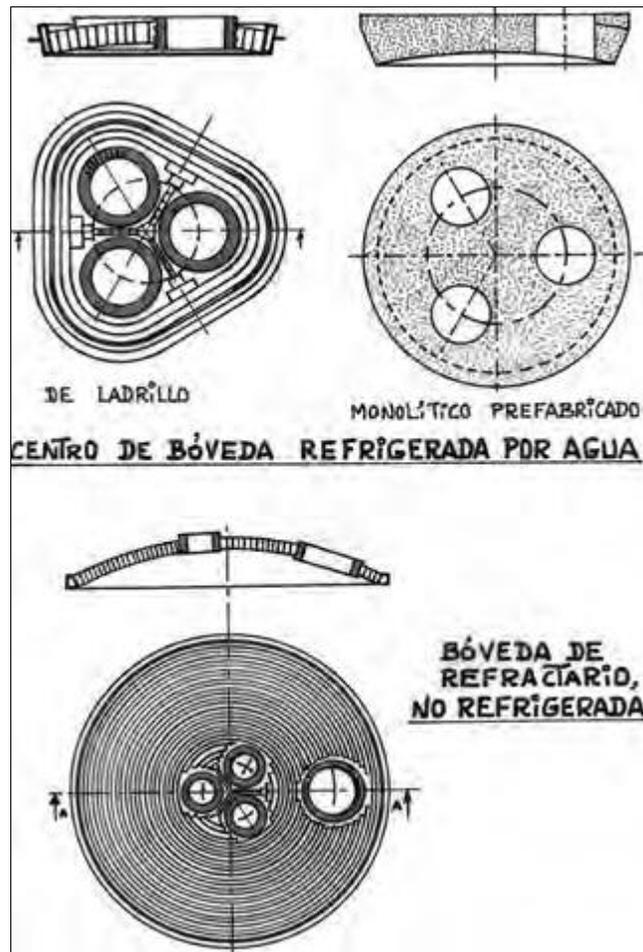
### 1) Refractarios de la bóveda

La bóveda se construye con ladrillos refractarios de formas especiales (figura 3.6) apoyados en el anillo metálico refrigerado. Los ladrillos se disponen



como un arco de medio punto alrededor de los ladrillos que constituyen las piezas clave. La bóveda tiene tres agujeros en la parte central, dispuestos a  $120^\circ$ , por los que pasan los electrodos (figura 3.7). Hay un cuarto agujero por el que se extraen los gases de colada para su depuración.

**Figura 3.7:** Bóvedas de horno de arco.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

Hasta el año 1959 se han utilizado ladrillos de sílice en las bóvedas de los hornos de arco. Esta composición planteaba problemas. Al tener los hornos



---

gran sección en comparación con la altura de la cuba sobre la escoria, la bóveda sufría un fuerte ataque por radiación térmica y llegaba a fundirse parcialmente (“lloraba”); estas gotas de ácido silícico lamían los refractarios básicos de la cuba y se producía una reacción ácido-base que atacaba los refractarios de la cuba. Por otro lado, las salpicaduras de la escoria básica y oxidante de la colada reaccionaban con el ácido de los ladrillos y los atacaban todavía más. La sustitución de la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) por alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o carborundum ( $\text{SiC}$ ) mejoró la situación del problema; una bóveda de alúmina duraba 200 coladas, cuando la de sílice sólo duraba 70.

Para montar el refractario de la bóveda el aro de sujeción refrigerado se coloca sobre una pieza de mampostería, construida en el suelo de la nave, cuya geometría es idéntica a la inferior de la bóveda. Apoyándose en ella se colocan todas las piezas refractarias como un puzle hasta completar el conjunto. Después se suspende el anillo con la grúa y se lleva hasta el horno en el momento en que se precise la sustitución de la bóveda gastada.

## 2) Bóveda refrigerada

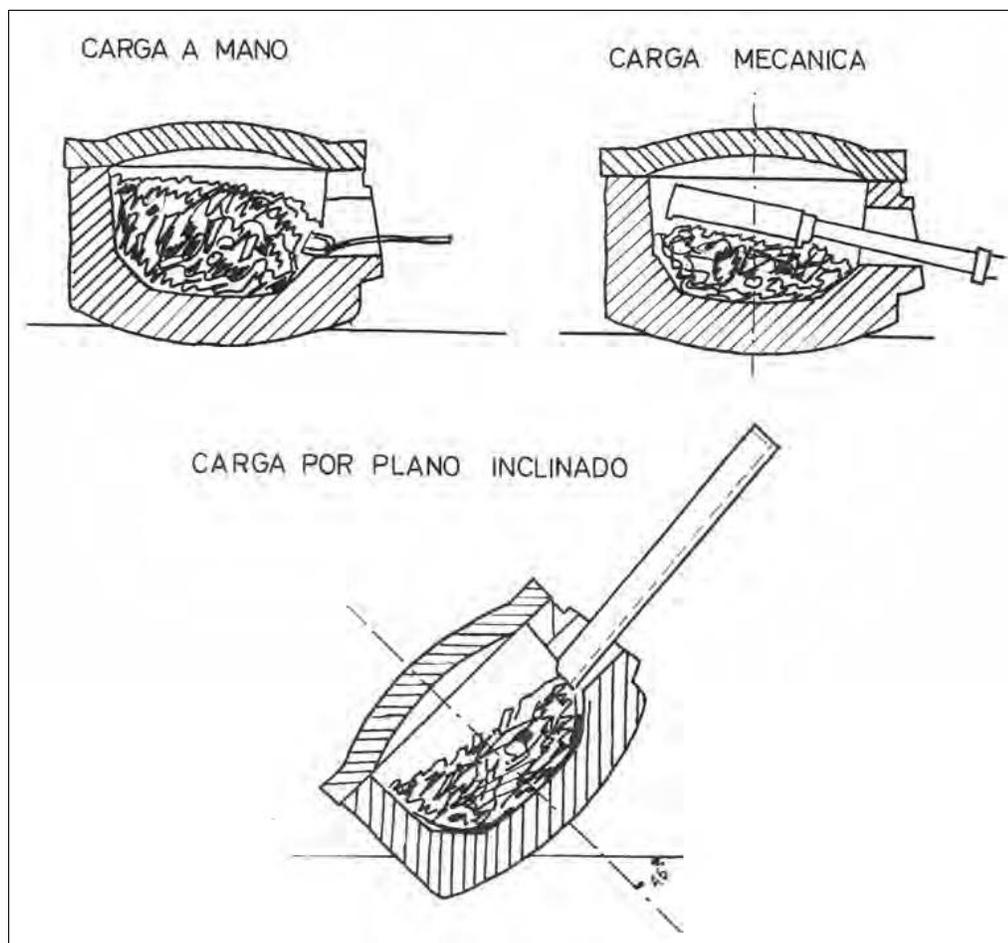
En la actualidad han desaparecido las bóvedas con ladrillos refractarios. Todas ellas se construyen con paneles refrigerados por agua de forma diversa. Originalmente era una sola tubería en espiral, pero actualmente se componen de varios paneles independientes entre sí. En el centro de la bóveda hay una zona de refractario, que suele ser apisonado, en la que se practican los agujeros de paso de los tres electrodos.



### 3) Métodos de carga del horno

- Bóveda fija y carga por la puerta de trabajo (figura 3.8). En los primeros tiempos la bóveda era fija y la carga de chatarra y adiciones se hacía íntegramente por la puerta de trabajo. En los hornos pequeños la carga se hacía a mano. En los grandes se hacía basculando el horno y llenándolo por un plano inclinado o mediante palas cargadoras mecánicas iguales a las utilizadas en los hornos Siemens-Martin existentes.

**Figura 3.8:** Bóveda fija y carga por la puerta de trabajo.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



---

- Cuba móvil deslizante

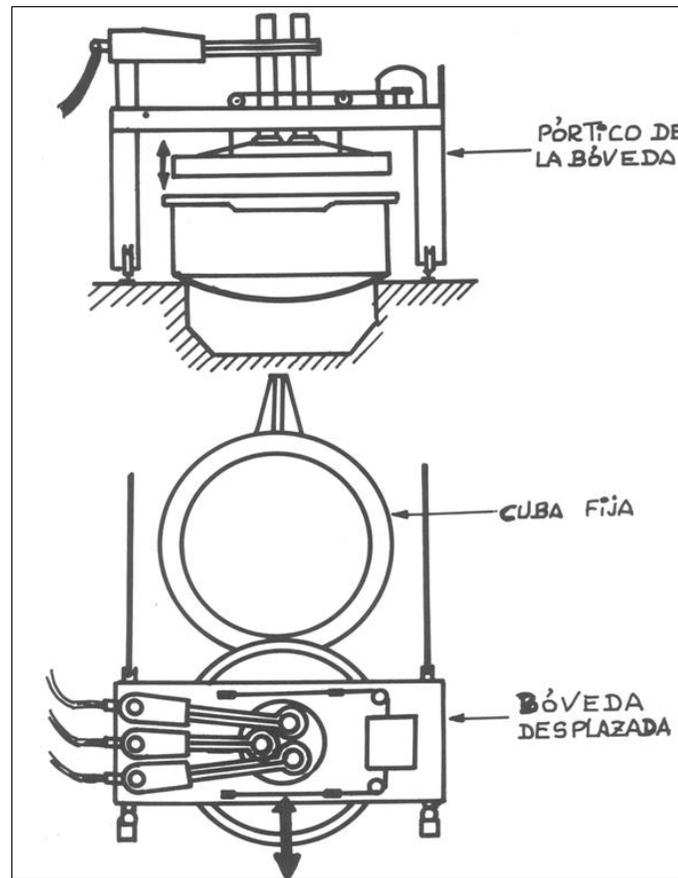
En hornos antiguos (y también actualmente en los más modernos) la bóveda está suspendida de un pórtico que también soporta el conjunto de columnas y brazos portaelectrodos. Se eleva la bóveda y los electrodos hasta separarse de la cuba. A continuación se desplaza la cuba sobre unos raíles hasta quedar fuera de la vertical de la bóveda. En ese momento se carga por cesta (que se describirá más adelante). A continuación la cuba, que va sobre ruedas y con motores de arrastre, se retorna a su posición. Descienden después bóveda y electrodos, se da corriente y comienza la fusión.

- Bóveda móvil deslizante

En este caso la bóveda, que también está colgada de un pórtico, se eleva y desplaza sobre unos raíles hasta dejar libre la vertical de la cuba, permitiendo así la carga por cesta. Este sistema tiene la desventaja de tener que alargar los cables flexibles de alimentación, lo que disminuye su duración (figura 3.9).



**Figura 3.9:** Carga de horno por bóveda desplazable.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

▪ Bóveda móvil pivotante (figuras 3.10 y 3.11)

Es el sistema predominante hoy día. Consiste en elevar verticalmente la bóveda y girarla después horizontalmente, con lo cual queda descubierta la cuba y en disposición de ser cargada. Las ventajas son múltiples, y entre ellas:

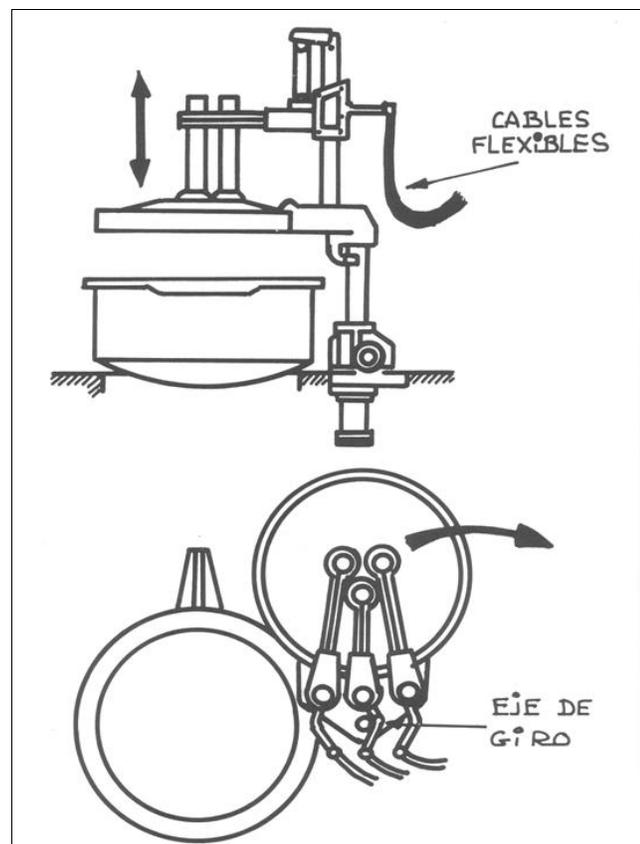
- Se eliminan tensiones y esfuerzos sobre superestructuras y refractarios.
- El tiempo de carga pasa de 1-2 horas a 5-10 minutos.



- Se ahorran pérdidas de calor y choque térmico a los refractarios.
- El dispositivo de elevación y giro es sencillo y robusto, sin mantenimiento.
- Ahorra mano de obra y aumenta la producción.
- Permite cargar chatarras masivas, etc.

Algunos hornos modernos tienen bóveda pivotante con un solo grupo eléctrico y dos cubas, de forma que en una cuba se está fundiendo y oxidando la carga mientras que la otra cuba está cargándose. Esto aumenta todavía más la producción y ahorra energía eléctrica.

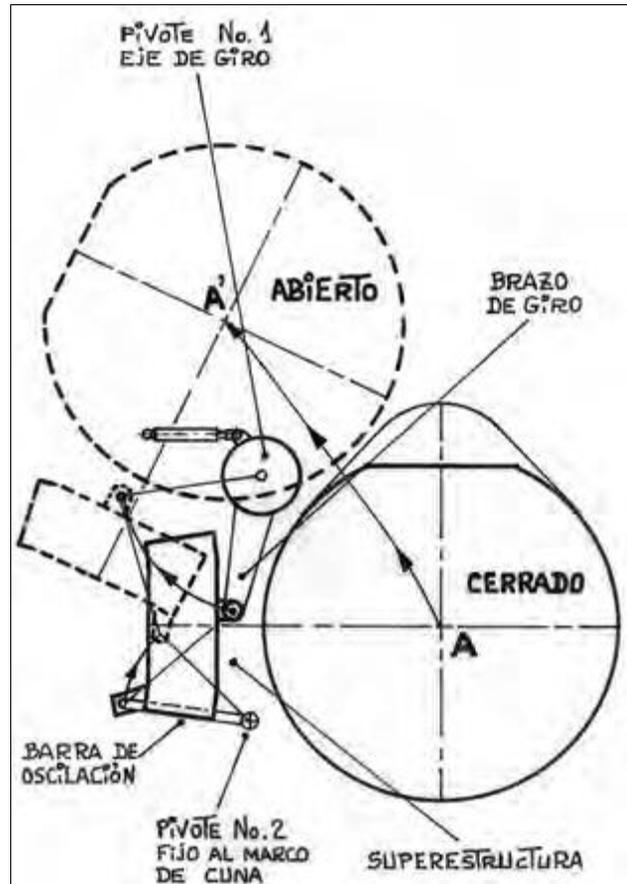
**Figura 3.10:** Carga de horno por bóveda pivotante.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



**Figura 3.11:** Desplazamiento de la bóveda en horno eléctrico de arco



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

- Carga por bóveda móvil pivotante

Una vez terminada la colada se vuelve el horno a su posición normal por medio del mecanismo de basculación, con lo que se puede realizar la elevación y giro de la bóveda. Esto último se consigue por mecanismos hidráulicos que elevan y pivotan la bóveda así como el soporte de las columnas portaelectrodos. Después se carga con cesta y vuelve la bóveda a su posición normal.



---

El movimiento de elevación de la bóveda se consigue en todos los tipos por medio de un cilindro de agua o aceite a presión (caseta de bombas hidráulicas). Normalmente los dispositivos están bañados en aceite, con lo que su funcionamiento es muy suave y se eliminan vibraciones. En los hornos grandes la bomba es levantada por un pistón vertical y girada por otro horizontal, lo que se consigue por una bomba de émbolos accionada por motor eléctrico. La alimentación de aceite se hace desde un depósito especial al que retorna el aceite porque el sistema funciona en circuito cerrado.

En los hornos pequeños el giro se hace a mano. Todos los tipos tienen válvulas de seguridad, *by-pass*, etc. que impiden falsas maniobras y averías por descuido.

- Cestas de carga

Es el sistema empleado para la carga de todos los hornos de arco convencionales y que no cuentan con dispositivos de precalentamiento (éstos se describirán más adelante). El equipo varía según la capacidad del horno y, por tanto, de la cesta.

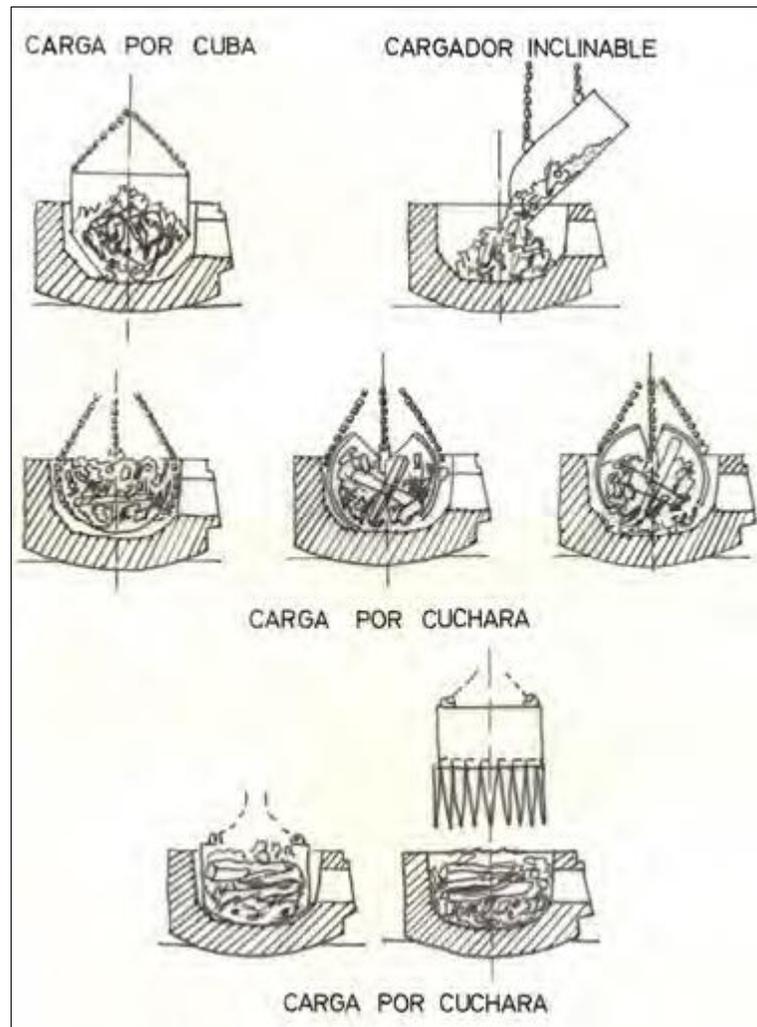
En tamaños pequeños la cesta está formada por una virola de chapa reforzada de la que cuelgan cadenas con argollas en su remate, chapas triangulares muy largas o chapas trapeziales abisagradas. Se hace descender la cesta sobre un recipiente semiesférico (que suele formar parte de la báscula de carga) y se amarran con una soga fuerte los extremos de las cadenas o triángulos. Se llena la cesta y se hace llegar hasta el interior del horno. El calor de la solera quema la soga y a elevar la cesta la carga queda depositada en el interior del horno.

En hornos grandes la cesta (muy reforzada, como es lógico) tiene en su fondo dos cuartos de esferas articulados y giratorios, de forma que cuando está



sobre la vertical de la cuba del horno se abren y sueltan la carga en el interior de éste (figuras 3.12, 3.13 y 3.14 respectivamente).

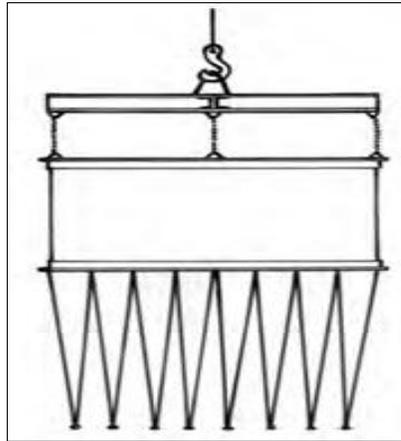
**Figura 3.12:** Cestas de carga.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

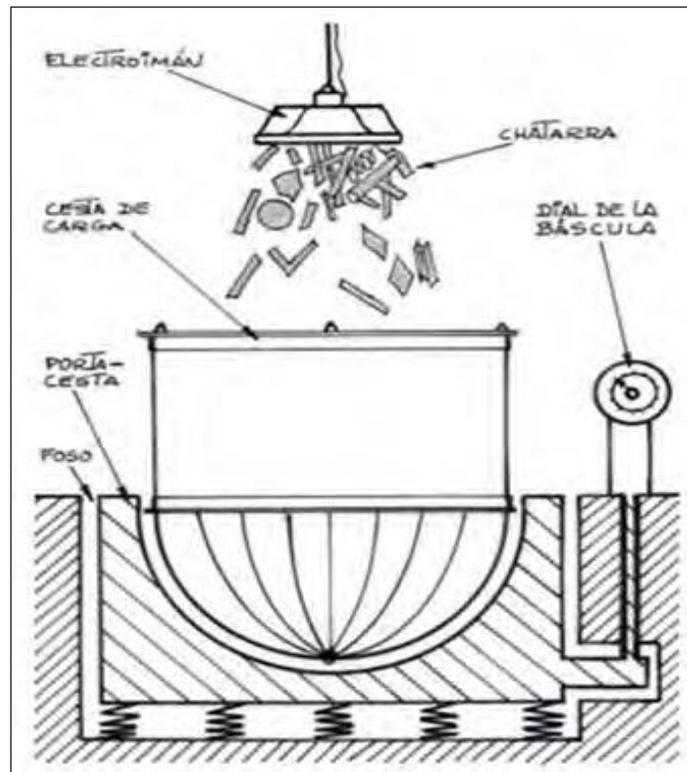


**Figura 3.13:** Cesta de carga de horno de arco pequeño o medio. (1) Cesta descargada.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

**Figura 3.14:** Cesta de carga de horno de arco pequeño o medio. (2) Cesta llenándose.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



---

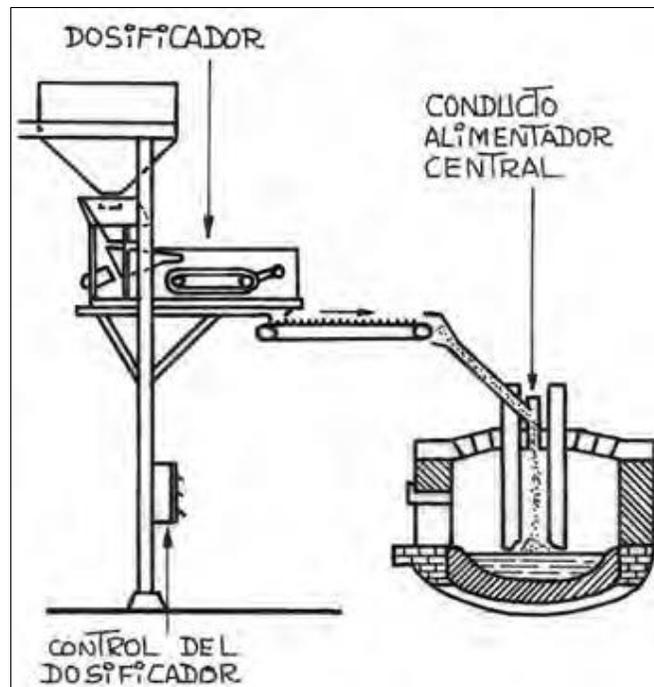
- Carga de pella

Dado su pequeño tamaño, los pella prerreducidos (hierro esponja) se escurrirían por la parte inferior de la cesta de carga. Por otra parte, al ser muy oxidables y pirofóricos no pueden almacenarse a la intemperie como otros componentes de la carga. Hay varias modalidades de carga de pella al horno de arco:

- Por un agujero practicado en la bóveda, preferiblemente en su centro geométrico a fin de que caigan en la zona más caliente del arco eléctrico y se fundan y fluidicen mejor (figura 3.15 y 3.16).
- Por un agujero practicado en la pared de la cuba lanzando los pella con un cañón que los proyecta al centro de la superficie del baño (figura 3.17).
- Por un agujero longitudinal practicado en el electrodo, con lo que los pella son ayudados a fundir y caer por el “viento” del arco eléctrico. Este sistema está especialmente indicado para los hornos de corriente continua, que sólo tienen un electrodo.



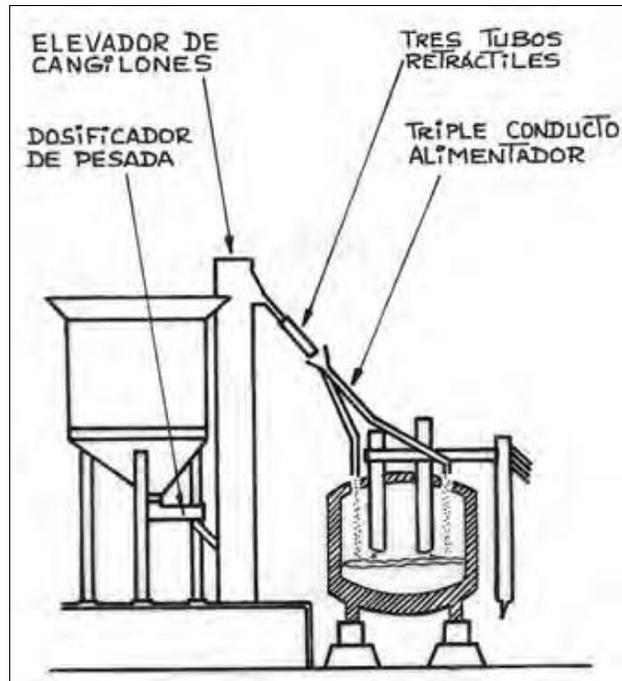
**Figura 3.15:** Pella prerreducidos. Diagrama del aparato IRSID de carga continua al horno eléctrico de arco.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

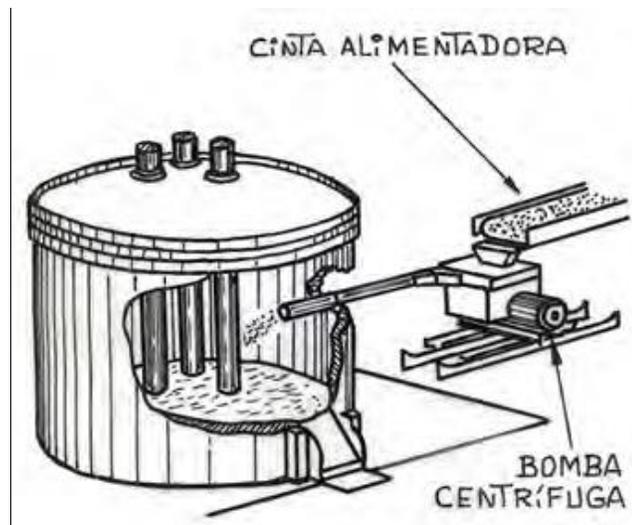


**Figura 3.16:** Pella prerreducidos. Diagrama del aparato Stelco de carga continua al horno eléctrico de arco.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

**Fuente 3.17:** Pella prerreducidos. Diagrama del aparato TAMSA de carga continua al horno eléctrico de arco



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



---

#### 4) Economizadores (apagallamas)

Se colocan sobre la bóveda y están refrigerados por circulación de agua, cerrando eficazmente el paso de los gases. Tienen unas ranuras de disipación de calor que evitan su rotura en caso de fallo en el suministro de agua. Refrigeran eficazmente los refractarios del “ojo de buey” a través del cual pasa el electrodo y están mecanizados cuidadosamente para evitar que queden agarrados a los electrodos. A fin de minimizar pérdidas por autoinducción, su construcción está perfectamente estudiada y tienen un cierre de acero austenítico. Se proyecta su montaje de forma que permita un perfecto centrado con el electrodo y mantenga la debida posición durante las dilataciones y contracciones de la bóveda. Están sujetos al anillo de la bóveda, de forma que aún en el caso de desprendimiento de los ladrillos de la misma no puedan caer en la cuba.

#### 5) Extracción y depuración de humos

En las bóvedas actuales refrigeradas por agua existe el que coloquialmente se llama “el cuarto agujero”, de un diámetro aproximado de 1-2 metros, que se prolonga en un codo de 90° refrigerado por circulación de agua. Por ese agujero y codo se extraen los gases y humos de colada, que antaño inundaban la nave y sus alrededores. Este codo se continúa en una tubería horizontal del mismo diámetro conectada al sistema depurador de humos. Como es lógico suponer, el tubo no puede ser enterizo con el codo pues no permitiría los movimientos de la bóveda y del resto del horno.

La extracción y depuración de humos puede implantarse exclusivamente para depurar los gases. En instalaciones modernas se aprovechan los calores sensible y químico de esos gases para precalentar la chatarra inmediatamente



antes de su carga al horno. A continuación se revisan someramente ambos objetivos.

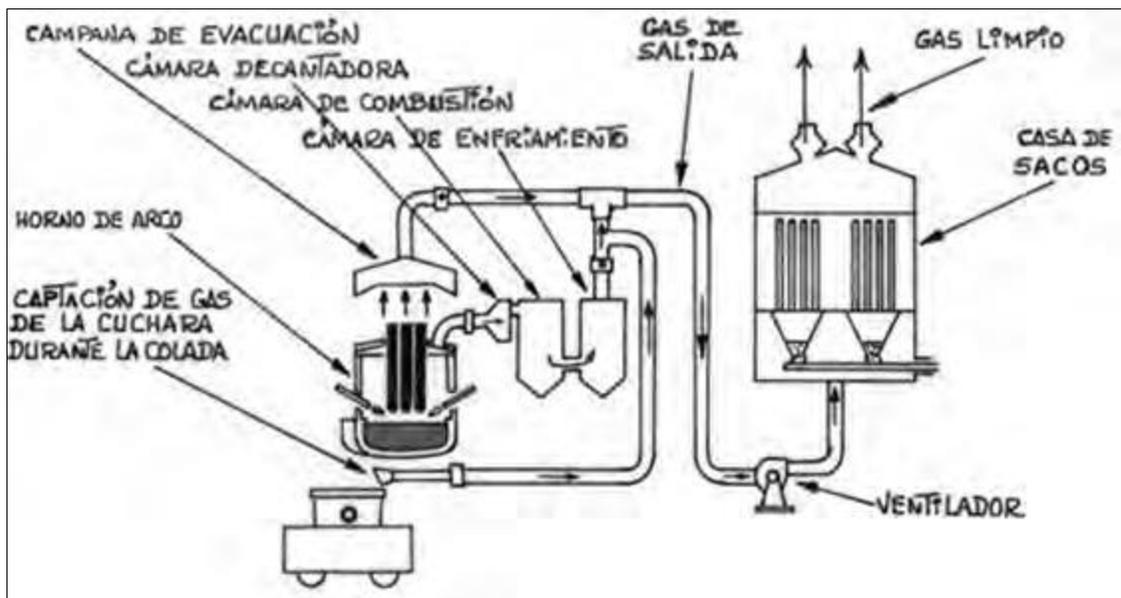
a) Sólo depuración (figura 3.18):

Una depuración adecuada, con la única pretensión de descontaminar los gases de salida del horno, debe poder realizar las siguientes funciones:

- Quemar los gases inquemados, especialmente el monóxido de carbono, para evitar que su combustión (incluso explosión) se produzca accidentalmente en los escalones siguientes de la instalación con los riesgos que ello implica.
- Enfriar esos gases para que no quemen los decantadores y filtros de mangas.

Retener el polvo y demás sólidos en suspensión para que los gases salgan limpios a la atmósfera.

**Figura 3.18:** Depurador del gas de salida de la bóveda del horno eléctrico de arco.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



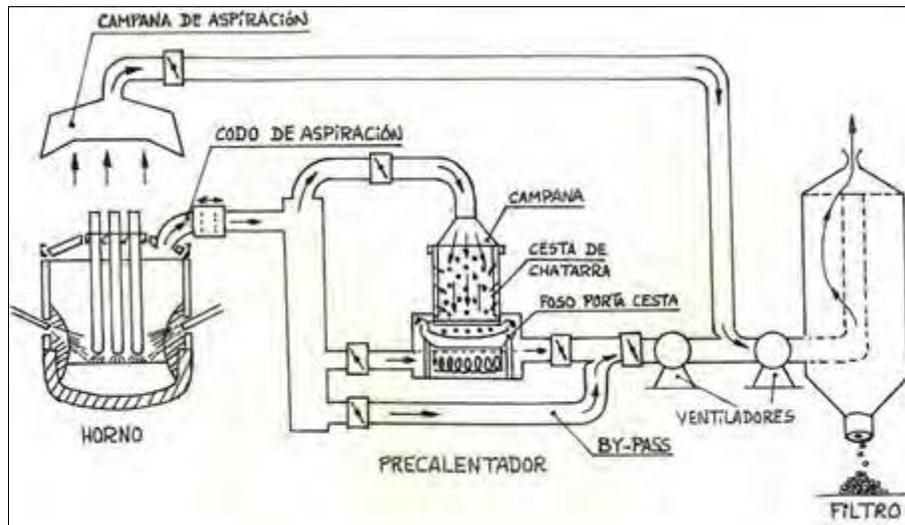
b) Pre calentamiento de chatarra (figura 3.19, 3.20 y 3.21):

A las operaciones y equipos antes citados se añade un sistema de paso de los gases combustionados a través de la chatarra de carga, inmediatamente antes del ingreso de la misma en la cuba del horno de arco. Este intercambio de calor puede hacerse de forma discontinua o continua.

- En los procesos discontinuos (*Kawasaki, High Temperature Quenching*) la cesta con la carga se encuentra en serie con la corriente gaseosa y actúa como medio enfriador de los humos. También vaporiza y quema los contaminantes (pinturas, taladrinas, humedad, etc.) con lo que la chatarra llega relativamente limpia al horno de arco. Una vez caliente la chatarra se carga al horno de arco por los medios normales.

Como puede verse en la figura 3.19, no sólo se captan humos del cuarto agujero sino debajo, en la colada. También hay una campana sobre el horno que en algunos casos llega a estar completamente encapsulado.

**Figura 3.19:** Pre calentamiento de chatarra en acerías.

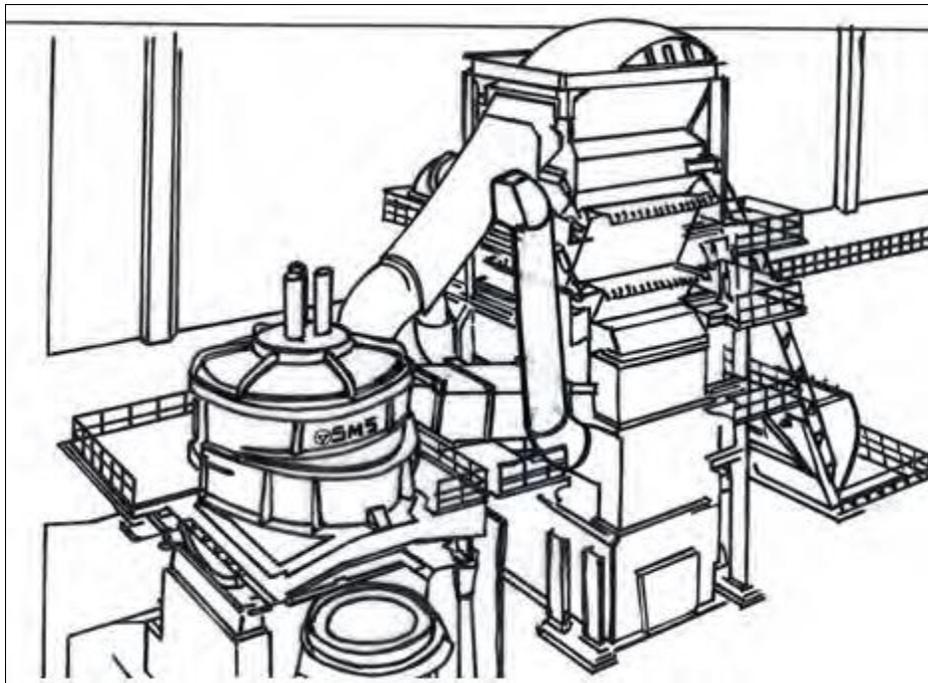


**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



- En los procesos continuos la chatarra se desplaza en contracorriente con los gases quemados, bien en forma horizontal (*Consteel*), bien en una disposición vertical (*Verticon SMS*, *Horno-cuba Fuchs Systemtechnik*), figuras 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23, o bien en una mixta (*Fingershaft Furnace*, *Contishaft*, *Contimet*, *BBC Brusa italiano*).

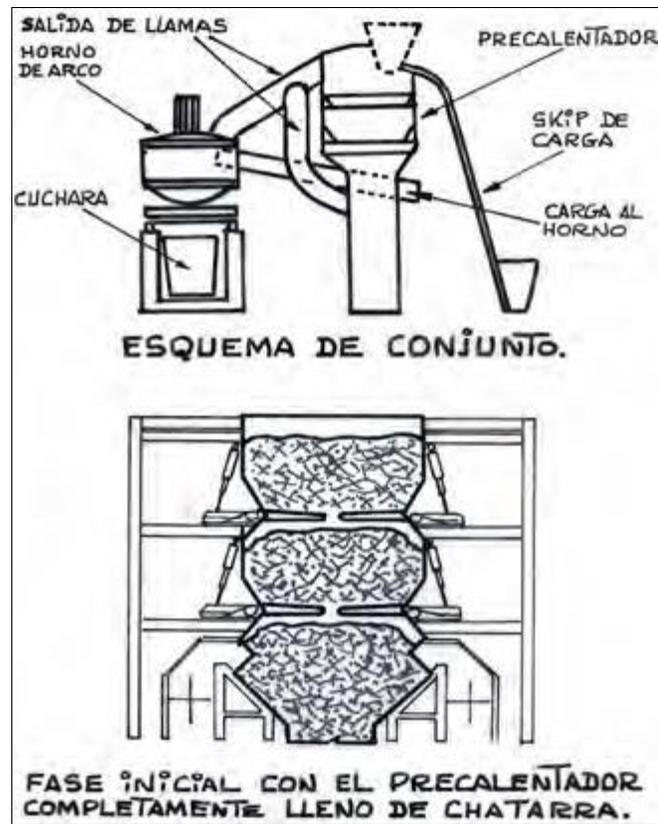
**Figura 3.20:** Pre calentamiento de chatarra en acerías.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



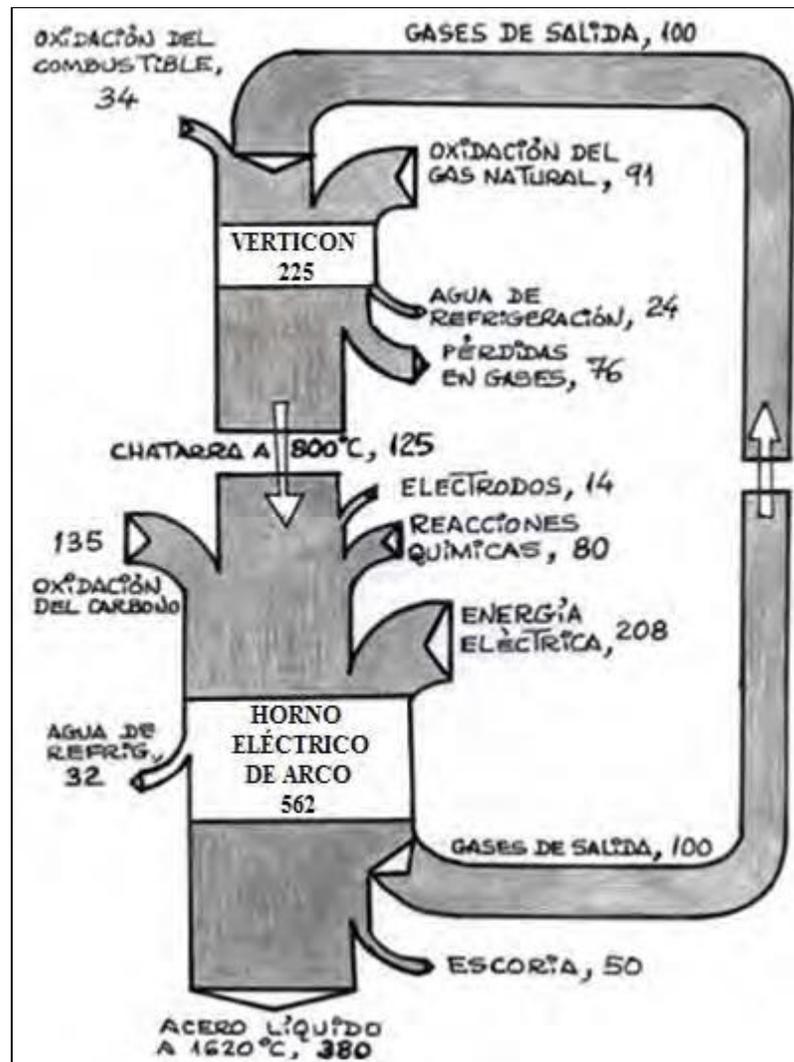
**Figura 3.21:** SMS Verticon para precalentamiento de la carga de horno eléctrico de arco.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



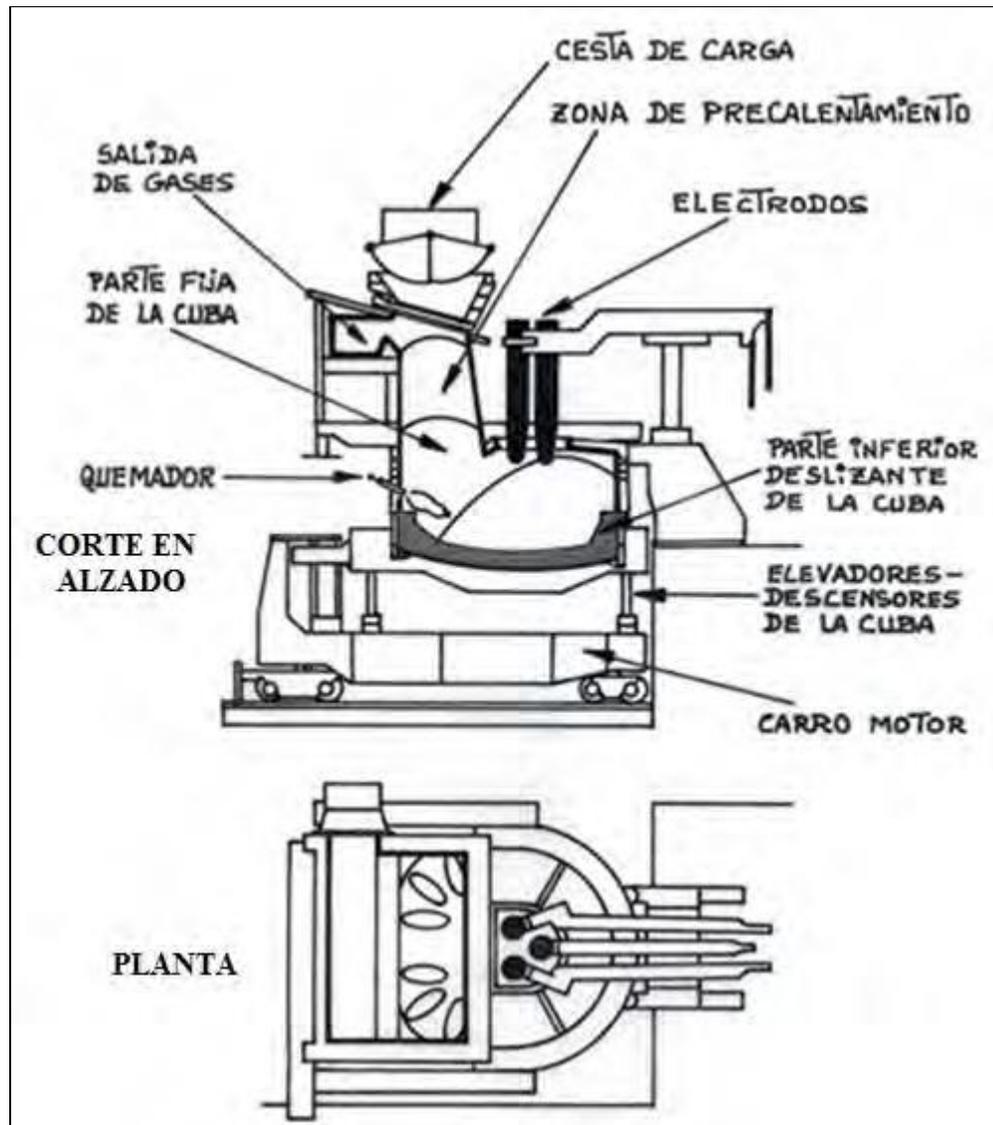
**Figura 3.22:** Balance de energía, KWh/T. Verticon Schloemann- Siemag AG.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



**Figura 3.23:** Horno de arco y cuba baja Fuchs Systemtechnik en Sheerness Steel.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

c) Sublanza de toma de muestras

En los grandes hornos de arco la operación de extracción de caldo para la obtención de muestras de control (análisis químico) llega a ser difícil y



---

físicamente fatigosa. En consecuencia, se está difundiendo progresivamente el mismo sistema de sublanza puesto a punto para los convertidores de acería de siderurgia integral. En consecuencia, la bóveda tiene un quinto agujero, de diámetro muy pequeño, por el que desciende la “sublanza” (así se denomina en los convertidores). En el extremo de ella se encuentra el sistema de entrada y retención y solidificación del acero líquido. La lanza está sujeta en un pescante. Desciende, penetra en el horno hasta llegar al baño de acero, y retrocede para sacar la muestra sólida y sustituir el cartucho toma-muestras.

### Electrodos

En los hornos eléctricos de arco la corriente se lleva al interior del horno mediante los electrodos, que son unas barras de carbono que se introducen en el horno y permiten que los arcos eléctricos se formen entre sus extremos y la carga sin que a pesar de la elevada temperatura se fundan. En los hornos de acería los electrodos comúnmente empleados son los de grafito, aunque en tiempos antiguos o de carencia se emplearon los de carbono amorfo y los Söderberg. Como alternativa a los electrodos clásicos de grafito se están ensayando otros especiales, mixtos o huecos.

Tanto los de grafito como los de carbono amorfo se adquieren ya fabricados, mientras que los Söderberg se construyen en la misma factoría que los utiliza. Los dos primeros son electrodos semicontinuos y están constituidos por barras cilíndricas de 1,5 a 3 m de longitud provistos en sus dos extremos de orificios roscados a los que se acopla una pieza de unión llamada “nipple”. Ésta consiste en un doble tronco de cono unido por sus bases mayores y roscado, que sirve para empalmar dos barras consecutivas. De este modo cuando el electrodo se va consumiendo puede roscarse otra barra y así funcionan como si fueran continuos.



---

El material de partida es siempre el mismo: Mezcla de carbones (naturales y coque) y de hidrocarburos pesados (brea y alquitrán). Según la temperatura de cochura la clasificación es:

- Söderberg: La pasta se emplea cruda.
- Carbono amorfo: Previamente se cuecen a temperatura intermedia.
- Grafito: Se cuecen a temperatura y presión muy altas.

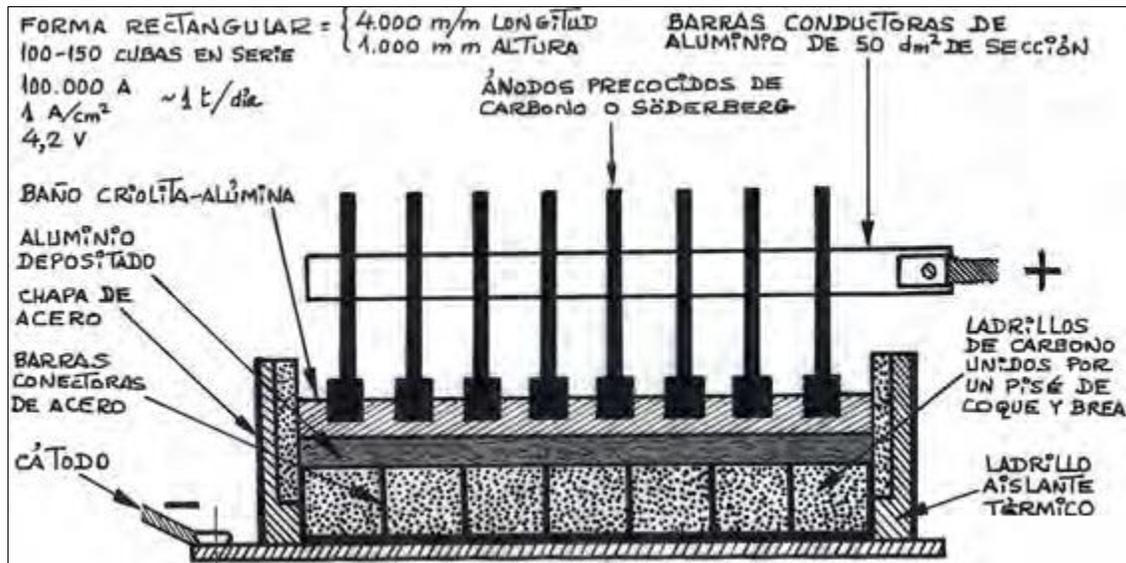
#### 1) Electrodo Söderberg

Estos electrodos han sido una solución de emergencia (guerras, carencias...) que originaban falta de electrodos de grafito. Han sido más utilizados en Suecia y Noruega por ser casi tradicionales. Actualmente se usan casi exclusivamente en:

- Células para obtención de algunos metales (aluminio, magnesio, calcio...) por electrolisis ígnea (figura 3.24).
- Hornos de reducción directa carbo-electro-térmica para obtención de hierro y otros metales de su grupo.
- Hornos eléctricos para obtención de metales como silicio o manganeso o ferroaleaciones como ferrosilicio, ferromanganeso o ferrocromo (figura 3.25).



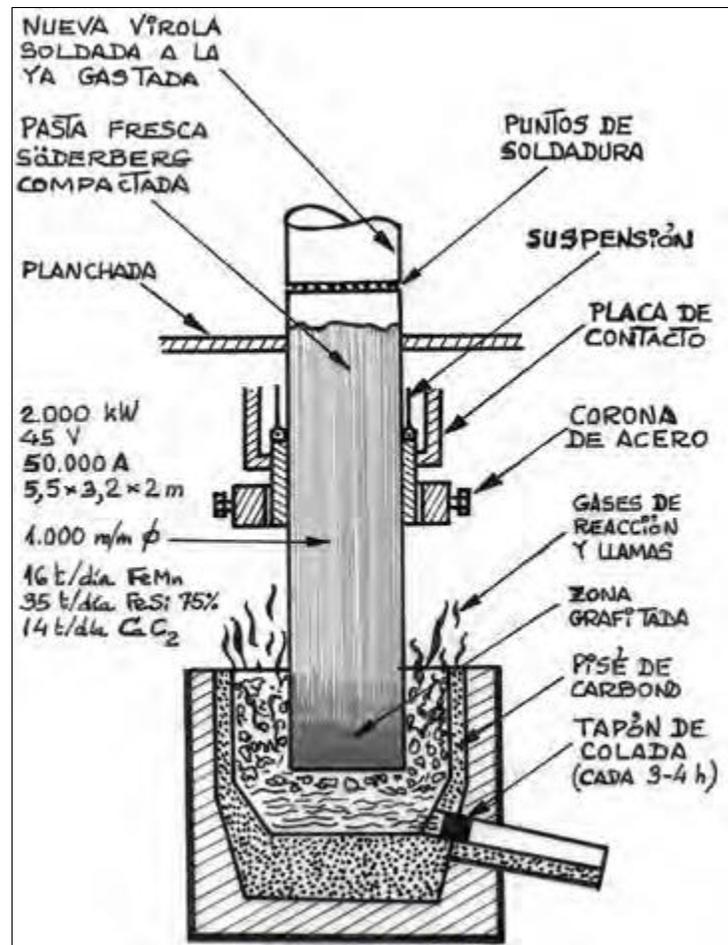
**Figura 3.24** Cuba electrolítica para aluminio.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



**Figura 3.25:** Horno de cuba abierta y solera conductora para fabricación de ferroaleaciones.

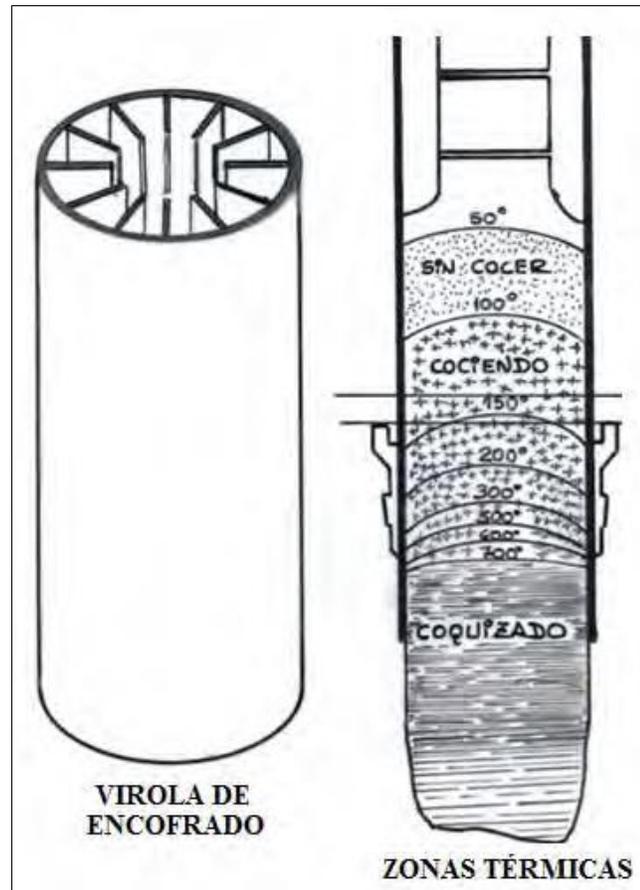


**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

En los electrodos Söderberg la corriente es tomada y conducida por una armadura o virola formada por chapa delgada de hierro dulce, que al mismo tiempo sirve de encofrado de la parte carbonosa que ha de constituir, una vez cocida, el electrodo propiamente dicho; también ha de servir de soporte mecánico del electrodo (figura 3.26).



**Figura 3.26:** Electrodo Söderberg.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

Las dimensiones de esta armadura han de ser tales que ofrezca poca resistencia al paso de la corriente eléctrica y que no llegue a fundir prematuramente. Pero el espesor de las chapas de la armadura no debe ser muy grande a fin de evitar que las corrientes de Foucault producidas en ella sean excesivas y lleguen a provocar un sobrecalentamiento por este motivo. Finalmente, la sección del metal debe ser suficiente para resistir el peso de todo el electrodo.



---

Como puede verse, condiciones difíciles de compaginar. La unión (eléctrica y mecánica) de cada chapa con la anterior se hace por una soldadura discontinua que deje grietas libres para escape de los gases producidos por la destilación de la pasta cruda al calentarse. Virolas de diámetro muy alto se refuerzan con chapas radiales soldadas longitudinalmente a la parte cilíndrica. En algunos casos se practican orificios de ventilación en las virolas.

La masa carbonosa puede ser preparada en la propia factoría del consumidor, pero puede adquirirse ya preparada con la denominación de “pasta Söderberg”. En el primer caso se una mezcla en caliente de los siguientes ingredientes:

- Antracita grafitada o desgasificada (en grano) 40 %
- Antracita grafitada o desgasificada (en polvo) 14 %
- Coque (en grano y polvo) 25 %
- Alquitrán deshidratado 16 %
- Brea de hulla 5 %

Durante su trabajo en el horno, y visto en sentido descendente, el electrodo tiene (o debe tener) cuatro zonas:

1. Y superior. La pasta carbonosa “está verde” (no ha coquizado) ni el metal de la armadura se ha fundido.
2. La pasta carbonosa ha coquizado y el metal de la armadura sigue sin fundirse.
3. La pasta carbonosa está coquizada (es por ello eléctricamente conductora) y el metal de la armadura se ha fundido.
4. La materia carbonácea se ha grafitado y el metal de la armadura no existe.



---

## 2) Electrodo de carbono amorfo

Su fabricación consiste en tomar pasta Söderberg, darle forma de barras mediante una fuerte compresión y cocerlas fuera del aire para descomponer el aglomerante y transformarlo en un cemento carbonoso que une sólidamente entre sí los granos primitivos. La constitución de estos elementos puede compararse a la del hormigón que se emplea en la construcción de obras de fábrica; en el caso presente los trozos de carbón equivalen a las piedras y arena del hormigón, y la brea o alquitrán o la mezcla de ellos el cemento, El fraguado se hace por la pirogenación del aglomerante durante la cochura a alta temperatura.

Los electrodos de carbono amorfo son engorrosos de manejar. En primer lugar, la resistencia mecánica es muy inferior a la de los electrodos de grafito y también inferior a la de los Söderberg, especialmente en lo que se refiere a esfuerzos de flexión. Resisten poco a los choques térmicos y siendo su resistividad unas cuatro veces mayor que la de los de grafito, se necesita una sección cuatro veces mayor o, lo que es lo mismo, diámetro doble que los electrodos de grafito para que el rendimiento sea el mismo.

Por esta razón sólo se emplean los electrodos de carbono amorfo en casos de emergencia, como ocurrió durante la Segunda Guerra Mundial en que fue totalmente cortado el suministro de electrodos convencionales de grafito y hubo que acudir a los de carbono amorfo.

## 3) Electrodo de grafito

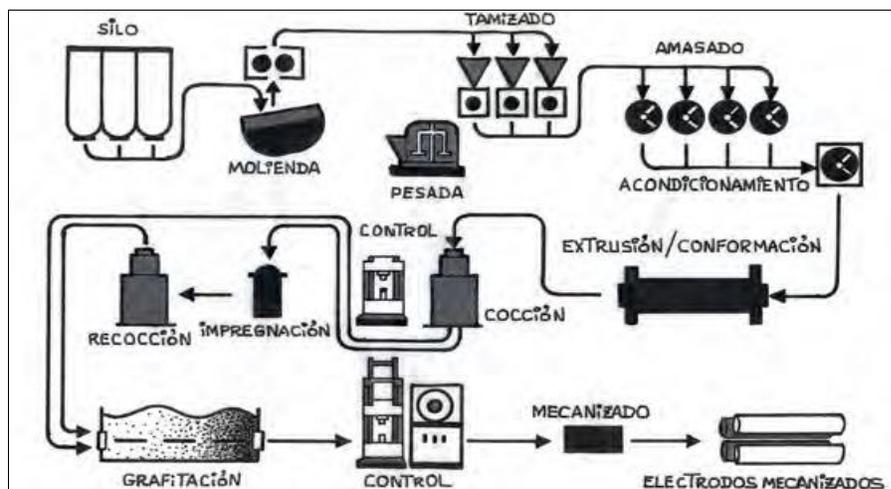
Para la fabricación de electrodos de grafito se necesita una operación más que para los electrodos de carbono amorfo. En realidad, un electrodo de grafito no es más que un electrodo de carbono amorfo en el que este material ha quedado transformado en grafito.



Esta grafitización se efectúa a temperaturas superiores a los 2200 °C, lo que se consigue en hornos eléctricos de cuna (proceso Acheson). Además de conseguirse la transformación del carbono amorfo en carbono gráfico, se volatilizan las impurezas y queda un carbono gráfico muy puro como constituyente de los electrodos. El proceso electrotérmico de grafitización es muy delicado pues hay que tener en cuenta que la densidad real del carbono antes de la grafitización es de 1,9 y pasa a ser 2,2, después de su transformación en grafito. Esta disminución del volumen específico produce una contracción de las dimensiones lineales y si esta contracción no se produce uniformemente se originan fisuras en la masa del electrodo. Para evitar la porosidad inherente, en la primera fase de la fabricación se someten los electrodos a presiones elevadas, del orden de 300 kg /cm<sup>2</sup>; así se tienen comprimidos los granos de carbón para que al cambiar la densidad se retraigan menos.

Finalmente, una vez fríos se mecanizan hasta las dimensiones adecuadas y se los taladra y rosca el orificio para las “nipples” en un torno como si se tratase de una pieza metálica cualquiera (figura 3.27).

**Figura 3.27:** Fabricación de electrodos de grafito.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



#### 4) Electrodo especiales

Dada la pérdida e inutilización de electrodos por fractura en servicio, especialmente con chatarras de formas muy distintas entre sí, se ha intentado sustituir el grafito por otros sistemas tenaces además de eléctricamente conductores. Un intento ha sido la sustitución de los electrodos de grafito por electrodos de cobre refrigerados por circulación interna de agua. A pesar de esta refrigeración las elevadísimas temperaturas en el arco han dado lugar a perforaciones y fugas de agua que llegan a ser peligrosas. Esto se ha obviado parcialmente manteniendo el cuerpo de cobre refrigerado por agua al que se le rosca una punta de grafito que abarca la zona de temperaturas más altas. En cualquier caso, los ensayos siguen en etapa de investigación.

Otra variante respecto a los electrodos convencionales de grafito la constituyen los electrodos perforados. En ellos se hace una perforación axial que se dispone para inyectar productos pulverulentos (hierro esponja, ferroaleaciones, óxidos metálicos...) que caen, empujados por el viento eléctrico del arco, en la zona de máxima temperatura. Esto aumenta su reactividad y facilita su digestión por el baño metálico. El sistema de electrodo hueco resulta especialmente favorable en los hornos de arco de colada continua, gracias a la polaridad constante de los mismos.

#### Equipo conductor y soporte

Junto con los electrodos hay otros componentes del conjunto que lleva la corriente desde el transformador a la carga metálica. Hay muchas variantes; aquí se describen las formas más extendidas.



## 1) Cables flexibles

La corriente se alimenta a través de cables de alta intensidad, flexibles y refrigerados por agua. Van desde la salida de baja tensión en el transformador (pletinas, barras o tubos de cobre) hasta los brazos portaelectrodos. De ahí la corriente va a tubos conductores de alta intensidad refrigerados por agua que la llevan hasta los electrodos.

Es lógico suponer que estos conductores han de ser flexibles para permitir los movimientos verticales del conjunto de electrodos, así como la basculación del horno para colada o escoriado. Los cables refrigerados de hornos pequeños suelen tener una sola “cuerda” de cobre dentro de la manguera refrigerada por agua. Los cables mayores tienen un anillo de cuerdas arrolladas concéntricamente a una manguera central. La mayoría de los hornos que adoptan un secundario en triángulo tienen cuatro grandes cables por fase. Si uno de los cuatro falla durante la colada es posible continuar ésta con los otros tres, compensando el circuito de agua. A fin de tener unas reactancias bajas los conductores deben ser lo más cortos posibles. Los tubos y cables de alta intensidad suelen adoptar una disposición cuya sección recta es un triángulo equilátero a fin de equilibrar los efectos de inducción mutua entre las fases.

## 2) Torretea

En el cuerpo del horno hay un pórtico o torretea que soporta la bóveda, brazos portaelectrodos, los propios electrodos y los medios de conexión eléctrica. Esta torretea tiene forma de caja de chapa soldada. Hay varios sistemas de disponer el pórtico con sus sistemas de elevación-descenso y basculación de la bóveda:

- El primero es con el mecanismo de elevación-descenso y oscilación colocado sobre un plinto especial.



- El mismo pero con el mecanismo y la cuba sobre la misma base. En este caso, como en el anterior, el pórtico sube y oscila haciendo cuerpo común con la bóveda suspendida.
- En otros casos la bóveda se eleva independientemente por medio de enclavamientos en el pórtico torreta.

La torreta gira alrededor de un pinzote o eje maestro. Los hornos pequeños o medios adoptan para la torreta una disposición en cantiléver. En el caso de hornos de diámetro muy grande, con bóvedas pesadas, la torreta adopta la disposición de un pórtico completo. El mecanismo de basculación debe estar enclavado (bloqueado) en la posición de trabajo para contrarrestar el momento de inclinación durante el giro.

### 3) Columnas y sistemas de guía

Deben poseer suficiente rigidez para resistir las fuerzas de flexión y torsión que sufren en servicio, especialmente en hornos UHP. En particular son notables las tensiones de torsión generadas por las fuerzas electromagnéticas entre los electrodos y entre los conductores secundarios. Si las columnas no son suficientemente rígidas se da oscilación excesiva de las mordazas de electrodos cuando éstos se abren paso entre la chatarra con elevado riesgo de rotura de los mismos.

Los fabricantes varían en la elección del material para las columnas. Algunos hacen las tres columnas de acero al carbono; otros hacen la columna central de acero inoxidable austenítico y las laterales de acero al carbono; y otros hacen las tres columnas de acero inoxidable. El empleo de materiales no magnéticos evita calentamiento inductivo y disminuye las pérdidas por inducción.

Las columnas soportan todo el conjunto que lleva la corriente hasta el baño. En hornos pequeños las columnas son tubulares y llevan guías o chavetas para



evitar el giro; son de acero amagnético para evitar inducción. En hornos grandes las columnas están soportadas por la torreta o pórtico. Para buen guiado cada columna desliza entre cuatro roldanas, cementadas y templadas, montadas sobre rodamientos a bolas. Las roldanas son ajustables en tres planos perpendiculares entre sí a fin de fijar exactamente al electrodo a su paso por los apagallamas. El movimiento ascendente y descendente de la columna portaelectrodos se hace de diferente forma, según la regulación sea eléctrica o hidráulica. En hornos pequeños el cilindro hidráulico de electrodo está emplazado en la misma columna. En hornos grandes los cilindros están situados en cámara aparte y su movimiento se transmite a las columnas y brazos porta-electrodos por un conjunto de cables y poleas. La elevación y descenso se hace por pistones independientes para cada electrodo.

En regulaciones eléctricas el mando de los electrodos se hace por husillos o winches de corona y sinfín, accionados cada uno por un motor de corriente continua y una desmultiplicación de engranajes. Los motores se colocan encima de los tornos; el montaje de los tornos se hace en unas bases de madera, que se emplazan normalmente en la cabina de la subestación y sobre el nivel del suelo, quedando así al abrigo de la humedad y del polvo, y facilitándose el mantenimiento. Los tornos accionan los brazos porta-electrodos equilibrados.

#### 4) Brazos porta-electrodos

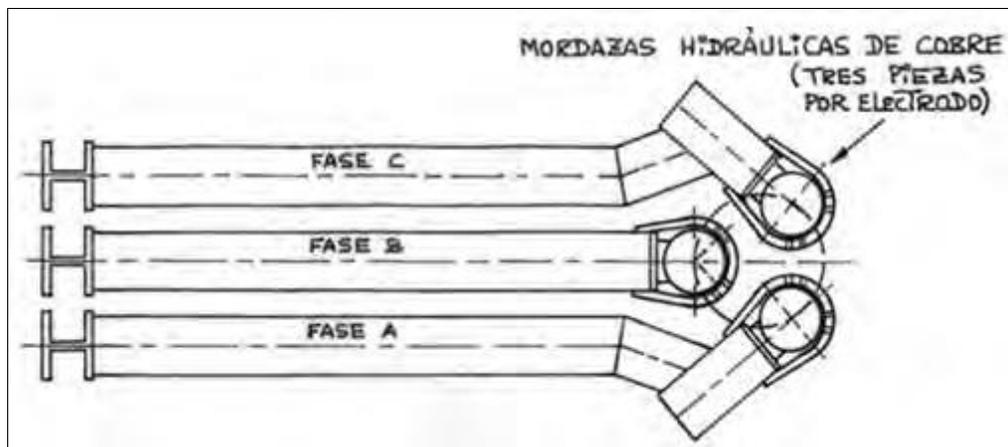
El horno de arco convencional tiene tres electrodos dispuestos en diseño circular. Hay dos configuraciones posibles. Una, la “larga”, en la que el electrodo central sobresale de los laterales y otra, la “corta”, en que el central está más cerca de la torreta que los laterales. El factor que preside el diseño de los hornos UHP es el equilibrado de las fuerzas electromagnéticas en los brazos, cosa que se consigue con el diseño “corto” (figura 3.28).



Como en la caso de las columnas, hay diferentes soluciones para el diseño de los brazos: cuadrado, rectangular, diamante, triangular y tubular. Es importante que los brazos sean suficientemente tenaces para minimizar la deformación en las mordazas de electrodo y tener buenas características de amortiguación. La operación de los hornos UHP ha mostrado que la mejor solución a este problema se consigue con la disposición triangular.

Como con las columnas de electrodos, los fabricantes varían en la elección del material para los brazos. Algunos hacen los tres brazos de acero al carbono, otros hacen el central de inoxidable austenítico y los laterales de acero al carbono y otros hacen los tres brazos de acero inoxidable. Se pretende anular y neutralizar las corrientes de autoinducción, es decir, calentamiento inductivo o pérdidas inductivas. En la actualidad se han ensayado brazos de aluminio, para disminuir pesos e inercias, o chapados en cobre para conducir y para evitar corrientes de Foucault. El aislamiento eléctrico de los brazos se hace próximo a las columnas, al abrigo de llamas y polvo.

**Figura 3.28:** Brazos Portaelectrodos. Diseño “corto”.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)



---

Brazos portaelectrodos conductores en caja de acero, cerrada, chapada en cobre vacío, y refrigerada interiormente por circulación de agua.

#### 5) Mordazas

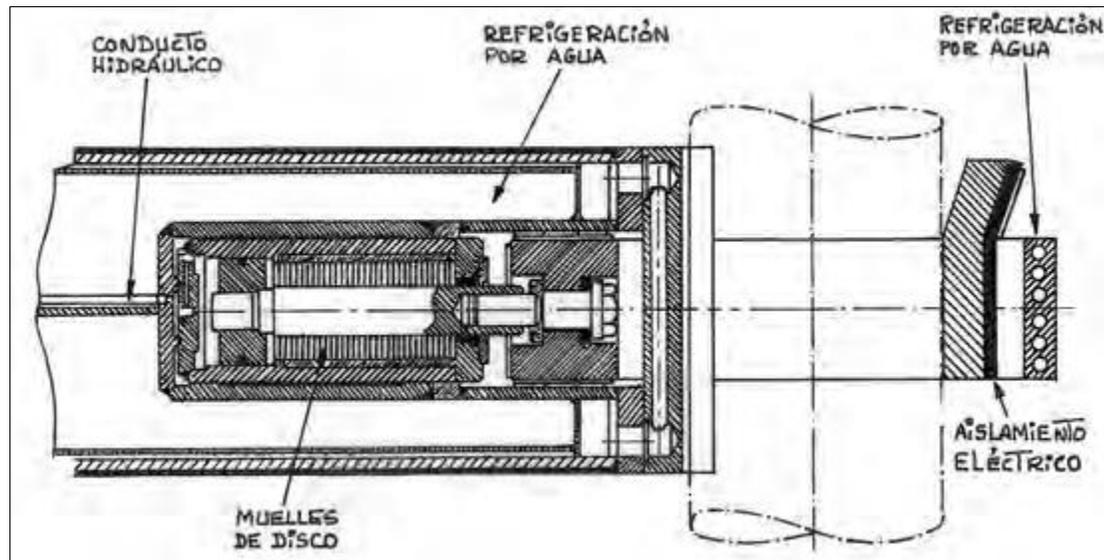
Las mordazas en hornos pequeños son de cobre fundido, perfectamente mecanizadas, con tolerancias admisibles según sea el diámetro de los electrodos. El cierre se hace mediante una cuña, también de cobre, que se aprieta a martillazos entre el electrodo y la propia mordaza.

En los hornos grandes las mordazas tienen dos piezas apretadas entre sí por resortes helicoidales y cilindro antagonista hidráulico o de aire comprimido con mando a distancia. Es decir, la fuerza de apriete es ejercida por muelles de compresión y la mordaza se abre mediante el cilindro antagonista (figura 3.29).

A causa de los campos magnéticos que se originan en conductores secundarios, el equipo es propicio al calentamiento inductivo, aunque un buen diseño obvia este problema y evita la necesidad de refrigeración adicional por agua. La solución adoptada por algunos fabricantes es contener el muelle y cilindro antagonista dentro del brazo de electrodo y conectar ambos elementos directamente a la amordaza mediante una barra de tracción. El cilindro de operación debe estar dispuesto de forma que toda la unidad al completo pueda ser sustituida en caso de avería.



**Figura 3.29:** Mordaza porta-electrodos.



**Fuente:** Enríquez J, Tremps E, De Elio S, Fernández D (2009)

## 6) Nipples y transportes

La nipple es una pieza de grafito en forma de dos troncos de cono unidos por sus bases mayores, con un roscado que permite efectuar con ella el empalme entre dos electrodos consecutivos. Es decir, que cumple dos labores, cuales son el empalme mecánico entre un electrodo gastado y el siguiente y el contacto eléctrico entre ellos.

Para transportar los electrodos hasta su posición en el horno se emplea una nipple de acero dotada de un gancho, con giro libre, que cuelga del puente grúa.

### Cronología de colada en horno eléctrico de arco

A continuación se detallan las operaciones de colada en horno eléctrico con revestimiento básico en el mismo orden en que se realizan. Ha de tenerse en



---

cuenta, una vez más, que la enumeración se hace en el supuesto de que todas las fases (oxidación, desescoriado, reducción) se realizan en el mismo horno de arco, según el proceso antiguo.

#### 1) Carga de chatarra, caliza y mineral

En el fondo de la cesta se aloja primero la caliza y el mineral ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), si lo hay, para proteger la solera de los impactos y para que las primeras gotas de acero que caigan se depuren al encontrarse con los escorificantes. En cuanto a la carga metálica, la chatarra más fina se pone sobre la gruesa para que los electrodos “hagan pozo” pronto y se establezca el arco eléctrico.

#### 2) Se intercala reactancia, tensión no máxima

Se acciona el mando eliminador de reactancia intercalando ésta en el circuito de alta del horno. Se actúa sobre el cambiador de tensiones poniéndolo en una tensión no máxima como, por ejemplo, el plot 5 de 6.

#### 3) Se da corriente y se bajan los electrodos hasta que salta el arco

Con esto comienza la fusión, que al principio es ruidosa, con arcos que se abren y cierran continuamente.

#### 4) Fusión

El arco de los electrodos se abre paso entre la chatarra fina y se forma un depósito de acero líquido sobre la solera.



---

5) Se elimina reactancia, tensión máxima

Se actúa sobre el interruptor en baño de aceite desconectando de la red el circuito de horno. Mediante el eliminador correspondiente se elimina la reactancia. Se pone la tensión en el plot máximo (el 6) y se cierra el circuito de nuevo con el interruptor citado.

6) Escoria negra oxidante

Las primeras gotas de acero que caen sobre los escorificantes forman la escoria negra.

7) Oxidación de elementos (Si-Mn-C-P)

La escoria negra comienza a efectuar la oxidación de los elementos acompañantes del hierro en el orden citado.

8) Inyección de carbón y oxígeno para escoria espumosa defosforadora

Si se efectúa esta operación se conectan las lanzas de inyección de carbón en polvo y oxígeno para producir la escoria espumosa defosforadora.

9) Toma de muestra de oxidación y análisis

Estando fundidos todos los materiales cargados, y con la escoria formada, se toma la muestra de análisis; esta muestra va a servir para calcular las adiciones a efectuar en la segunda fase.



---

#### 10) Sube electrodos y corta corriente

Se acciona el mando de subida de electrodos hasta que cesa el arco. Después se corta la corriente mediante el interruptor principal.

#### 11) Fin del período oxidante

El baño está totalmente oxidado y se han retirado de él los elementos oxidables (Si-Mn-C-P) y otros elementos (Cr...) que pudiera contener. Sólo queda el oxígeno en exceso, azufre y posibles elementos no eliminables (Cu-Sn). Sobre el baño queda la escoria oxidante, que contiene óxidos, silicatos y fosfatos de los elementos que se han eliminado.

#### 12) Desescoriado

Se extrae la escoria “negra” oxidante. Primero se bascula ligeramente el horno hacia atrás de forma que casi toda la escoria caiga a la pota emplazada en el foso bajo el horno. Después se saca la escoria restante por medio de “rables”. Para ayudar al rableado se “seca” (se hace viscosa y extraíble) la escoria echando dolomía sobre ella. Se suele aprovechar para ello la dolomía que se ha estropeado por hidratación atmosférica. En los procesos actuales se deja algo de escoria (o, mejor aún, caldo) que ayuda a iniciar una nueva colada en el horno EBT.

#### 13) Tensión baja, se da corriente y se bajan los electrodos

El cambiador se conecta al plot 1 o 2, es decir, tensión baja. Se acciona el interruptor principal para reconectar el circuito. Se bajan los electrodos y se establece de nuevo el arco eléctrico entre ellos y el baño.



---

#### 14) Comienza período reductor

Como se ha citado en anteriores ocasiones, en los procesos clásicos se hacía en el mismo horno de arco. En los actuales el caldo oxidado se pasa a la cuchara para efectuar el período reductor en la estación de Metalurgia Secundaria.

#### 15) Desoxidación por precipitación o difusión

Se hacen las adiciones de ferroaleaciones, desoxidantes, escorificantes y fundentes para comenzar la desoxidación y desulfuración.

#### 16) Formación de escoria blanca reductora y desulfuradota

El calor del baño funde los productos añadidos. Se aceleran las reacciones metal-escoria forzando a ésta a mezclarse con el baño mediante “barreo”.

#### 17) Control color escoria, olor a carburo

Las barras se enfrían en agua y se observa el color de la escoria adherida a ellas. Al principio será todavía negra; después, repitiendo el barreo y enfriamiento de las barras en agua sucesivas veces, marrón oscuro, marrón claro, beige y, finalmente, blanco. En ese momento se notará un “olor a carburo” (acetileno) en los vapores que salen del agua de enfriamiento. Eso quiere decir que la escoria, y por lo tanto el baño que está bajo ella, están desoxidados y, por ende, desulfurados.



---

#### 18) Toma de muestra análisis acero calmado

Por medio de cazo o sublanza se toma muestra del caldo, en la que se efectúa análisis químico rápido por espectrometría. Este análisis servirá de base para calcular las adiciones de recarburantes y aleantes necesarias para ajustar la composición a la especificada.

#### 19) Adición de ferroaleaciones

Sobre el baño se hacen las adiciones correctoras de análisis, bien manualmente a pala en hornos pequeños o bien con dosificadores automáticos de pesada en hornos grandes. Puede ser conveniente esperar agitando el baño y sacar un segundo análisis químico de verificación y, si procede, nueva corrección.

#### 20) Control de temperatura

Es importante controlar la temperatura, sobre todo para mejor funcionamiento de la máquina de colada continua. Se emplea normalmente un pirómetro de inmersión de cartucho consumible.

#### 21) Sube electrodos y corta corriente

Una vez verificadas composición y temperatura del acero se elevan los electrodos y se corta la corriente en el interruptor principal en baño de aceite.



---

## 22) Fin del período reductor

Así se considera terminado el período reductor (segunda escoria) y el horno está listo para sacar la colada.

## 23) Basculación y colada a cuchara

Se vuelca el horno y el caldo cae a la cuchara. Para evitar reoxidación del baño en el chorro de colada se añade en piqueta o cuchara 1 a 2 kg de aluminio por tonelada de caldo. Se procura que en la cuchara quede una capa de unos centímetros de “escoria blanca” (desoxidada) que protege al baño metálico de pérdidas por radiación y de posible reoxidación. La cuchara se lleva a la máquina de colada continua o lingoteras.

## 24) Inspección y reparación de revestimiento

Una vez vacío el horno se observa su interior para detectar algún desgaste del refractario, especialmente en la línea de flotación de la escoria. Si fuera preciso se añade, a pala o proyectado por gunitado, refractario dolomítico para reponer el gastado.

## 25) Apertura de bóveda para recibir nueva carga

Se levantan totalmente los electrodos, se eleva la bóveda y se pivota horizontalmente, dejando la cuba en disposición de recibir la primera cesta de carga de la nueva colada; cesta que ya debe estar en espera a fin de no perder tiempo y temperatura. Observaciones. Hay que tener presente, una vez más, que:



- 
- Se trata de proceso básico.
  - Ambos períodos (oxidante y reductor) se realizan en el horno.
  - No hay metalurgia secundaria.
  - Es para aceros calmados, al carbono o poco aleados.

En la figura 100 se representa la cronología de marcha de una colada de acero básico en un horno de arco.

### 3.3 Definición de Términos Básicos

- **Acero colado:** Es la cantidad de acero producido en los hornos de las máquinas de colada continua.
- **Carga:** Es la cantidad de acero para producir material solidó.
- **Carro porta distribuidor:** Este se encarga de transportar los distribuidores sobre los rieles instalados en la estructura del plano de colada, mediante motores reductores y está dotado de celdas de pesaje, las cuales forman parte del sistema de regulación automática del nivel de acero.
- **Cate:** Cumple la misma función de las lanzas supersónicas lo que lo difiere son los fabricantes.
- **Compactación:** Eliminación de tiempos muertos en la secuencia.
- **Colada:** Cantidad de acero líquido depositada en el cucharón.



- 
- **Colas:** Es el último acero que solidifica produciendo una oquedad en la palanquilla y concentrando las impurezas en esta zona.
  - **Cucharones:** Son recipientes que reciben el acero del horno y lo lleva a la máquina de colada continua.
  - **Distribuidor:** Están contruidos de planchas de acero soldado, recubiertos con material refractario en su parte interna, su función principal es recibir y repartir el acero líquido uniformemente, en cada uno de los moldes.
  - **EBT:** *Eccentric Bottom Tapping-Hole* Vaciado excéntrico (fuera de centro) por el fondo.
  - **Ganga:** Son los óxidos no ferrosos, los cuales los más comunes son óxido de silicio  $\text{SiO}_2$ , óxido de aluminio  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , pentóxido de fósforo  $\text{P}_2\text{O}_5$ , etc.
  - **Horno cuchara:** Es un horno termoquímico utilizado para garantizar la homogenización de la temperatura, limpieza y calidad del acero, es decir darle los afinos a la colada con las especificaciones requerida del tipo de acero, para luego pasarlo a las máquinas de colada continua, para mantener la continuidad del proceso.
  - **HRD:** Hierro de Reducción Directa.
  - **Máquina oxicorte:** Esta máquina se encuentra ubicada después de la unidad extractora, enderezadora y se encarga de ejecutar el corte de la palanquilla durante la coladura según la medida planeada.
  - **Palanquilla:** Es un producto semielaborado de sección cuadrada, cortado a una determinada longitud y posteriormente transformado por laminación o forja



---

en caliente, para obtener productos tales como: Barras Lisas y con Resaltes, Alambrón, Pletinas, entre otros.

- **Retrasos:** Es la acción de hacer que algo ocurra en un tiempo posterior al previsto o debido.
- **Secuencia:** Es la Sucesión ordenada de cosas que guardan alguna relación entre sí.
- **Secuencialidad:** Es el número de coladas que tiene un distribuidor durante un periodo de tiempo determinada.
- **Secuencias activas:** Es la secuencia donde no se pueden instrumentar acarreos globales.
- **Secuencias óptimas:** Subconjunto de las secuencias sin retraso
- **Secuencias semiactivas:** Conjunto de secuencias en las que ya no es posible el proceso de compactación.
- **Secuencias sin retraso:** Secuencia en la que no existen tiempos muertos.
- **Tiempos muertos:** Es un tiempo en donde no se obtiene producción, es decir, no se pudo producir nada de nada.



---

## CAPÍTULO IV

### MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describen las herramientas utilizadas en este periodo investigativo, descripción del tipo de estudio, descripción de la población y muestra, los recursos e instrumentos utilizados, las técnicas para recolección de datos y el procedimiento metodológico.

#### 4.1 Tipo de investigación

Para este estudio se aplicó una investigación descriptiva. Con relación a esto Hernández S. y otros (Ob. Cit.: 60) identifican estos estudios como aquellos donde se dice cómo es y se manifiesta cierto fenómeno. También recalcan que “los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis (Dankhe, 1986). Miden y evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir”.

Esta última definición es importante, ya que exige del investigador la capacidad y disposición de evaluar y exponer, en forma detallada, las características del objeto de estudio. Una serie de estudios descriptivos



---

permite ir acumulando una considerable cantidad de conocimientos sobre el mismo tema.

Ander - Egg (1977: 40) advierte, además, que “Los estudios formulativos o exploratorios y los estudios descriptivos son los dos niveles en los que habitualmente han de trabajar quienes están preocupados por la acción, puesto que permiten elaborar un marco de estudio a partir del cual se deduce una problemática ulterior, o bien formular un diagnóstico con el fin de conocer carencias esenciales y sugerir una acción posterior”.

Haciendo referencia a esto, se diría que es del tipo descriptiva, ya que procura distinguir y exponer los métodos con los que se ejecutan las actividades de interrupciones operativas, al igual que los tiempos empleados por cada actividad.

También se aplicó una investigación analítica. Según Hurtado de Barrera (2000) la investigación analítica consiste en el análisis de las definiciones relacionadas con un tema, para estudiar sus elementos en forma exhaustiva y poderlo comprender con mayor profundidad.

Este tipo de investigación consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. El análisis es la observación y examen de un hecho en particular. Es necesario conocer la naturaleza del fenómeno y objeto que se estudia para comprender su esencia.

Tomando como referencia lo anterior planteado, se diría que es analítica ya que permite conocer más a fondo el funcionamiento de las partes que conforman las interrupciones operativas, los recursos necesarios que participan



---

en ellas, y de esta manera comprender mejor su comportamiento y abriendo un espacio al establecimiento de nuevos métodos de trabajo.

De igual manera, se empleó una investigación evaluativa. A esto Hurtado (1998:365) define, “La evaluación se entiende como la actividad realizada con el propósito de apreciar la mayor o menor efectividad de un proceso, en cuanto al cumplimiento de los objetivos, en correspondencia con el contexto en el cual el evento ocurre”.

A su vez Ander Egg y Aguilar (1992:6) dicen:

“Operativamente se entiende que la evaluación es una forma de investigación social aplicada, sistemática, planificada y dirigida; encaminada a identificar, obtener y proporcionar de manera válida y confiable datos relevantes que apoyen un juicio de valor sobre los componentes de un programa o un conjunto de actividades que se realizan, a fin de que sirvan de base para la toma de decisión en el curso de una acción; para la resolución de problemas y/o para la comprensión de factores asociados al éxito o fracaso de sus resultados”.

En resumen se puede decir que la investigación evaluativa es un proceso sistemático de construcción de conocimientos por vía del procesamiento, análisis e interpretación de información de una realidad.

En base a esto, se define la investigación como evaluativa, ya que, se realizó una valoración del método actual de procedimiento y las secuencias de trabajo empleadas en las actividades de interrupciones operativas.



---

## 4.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental de campo. En relación a esto Arias (2006) explica:

“La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental”

Debido a este planteamiento se justifica que el estudio sea de campo ya que se realizó en el lugar donde se presenta el problema, específicamente en la acería eléctrica de colada continua de palanquillas de SIDOR C.A., obteniendo de forma directa la información necesaria para llevar a cabo la medición de trabajo. Además la investigación fue de tipo no experimental ya que se describió la situación tal como ocurrió en las condiciones normales.

## 4.3 Unidades de análisis

Las unidades de análisis no son más que los sujetos u objetos del estudio, lo que se conoce comúnmente como población y muestra.



---

### **4.3.1 Población**

Según Balestrini, R. Año 1997. Técnica de la Investigación. Pág. 137, Una población está determinada por sus características definitorias. Por lo tanto, el conjunto de elementos que posea esta característica se denomina población o universo. Población es la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las unidades poseen una característica común, que se estudia y da origen a los datos de la investigación, es decir, una población es un conjunto de todas las cosas que concuerden con una serie determinada de especificaciones.

En este marco de ideas Arias (2006), afirma que la población “Es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio.”

Desde el punto de vista estadístico, una población o universo de estudio puede estar referido a cualquier conjunto de sus elementos de los cuales se pretende indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación.

La población seleccionada para esta investigación está constituida por todas las actividades del proceso productivo de la acería eléctrica de colada continua de palanquillas.

### **4.3.2 Muestra**

Según Balestrini, R. Año 1997. Técnica de la Investigación. Editorial Mc Graw Hill. Pág. 138, Cuando se seleccionan algunos elementos con la intención de averiguar algo sobre una población determinada, este grupo de elementos es denominado muestra.



---

La muestra estadística es una parte de la población, o sea, un número de individuos u objetos seleccionados científicamente, cada uno de los cuales es un elemento del universo. La muestra es obtenida con el fin de investigar, a partir del conocimiento de sus características particulares, las propiedades de una población.

Ahora bien, la muestra seleccionada está representada en su 100% por la población de estudio, por tanto, son coincidentes.

#### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Una investigación es científicamente válida al estar sustentada en información verificable, que responda lo que se pretende demostrar con la hipótesis formulada. Para ello, es imprescindible realizar un proceso de recolección de datos en forma planificada y teniendo claros objetivos sobre el nivel y profundidad de la información a recolectar.

##### **4.4.1 Análisis de Datos**

La técnica de análisis de datos demuestra la manera de cómo se ira procesando la información obtenida, esta se puede procesar de dos maneras cualitativa o cuantitativa.

Haciendo referencia a lo anterior, según Sabino Sampieri, Fernández y Baptista (2003), el análisis cualitativo se define como: “un método que busca obtener información de sujetos, comunidades, contextos, variables o



---

situaciones en profundidad, asumiendo una postura reflexiva y evitando a toda costa no involucrar sus creencias o experiencia: (p 451-452)

Y a su vez, Sabino (1992), refiriéndose al análisis de datos cuantitativos señala que: “Este tipo de operación se efectúa naturalmente, en toda la información numérica resultante de la investigación. Esta luego, del procedimiento sufrido, se nos presentara como un conjunto de cuadros, tablas y medidas a las cuales se le han calculado sus porcentaje y presentado convenientemente”. (P.190)

El análisis e interpretación de los datos recolectados se realizara utilizando técnicas de análisis de datos cuantitativas y cualitativas.

#### **4.4.2 Observación Directa**

Se utilizó esta técnica para la recolección de datos porque fue necesario por el investigador apreciar la realidad de cada uno de los procesos para dejarlos por escrito, esto con el propósito de visualizar y tomar datos de los tiempos reales de ejecución de la obra en el puesto de trabajo, y también de los tiempos de llegada entre palanquillas.

En particular Sierra (1991) define la observación directa simple, de la siguiente manera:

“Es la inspección y estudio realizado por el investigador, mediante el empleo de sus propios sentidos, especialmente el de la vista, con o sin ayuda de aparatos técnicos, de las cosas y hechos de interés social, tal como son o tienen lugar espontáneamente en el tiempo en que acaecen y con arreglo a las exigencias de la investigación científica”. (P. 253)



---

En este orden de ideas, Sabino (1992), afirma que “la observación es el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que queremos estudiar”. (P. 146)

#### **4.4.3 Revisión Bibliográfica**

Se implementó esta técnica ya que diferentes materiales bibliográficos fueron de vital consulta, facilitando, reforzando y argumentando las bases teóricas del trabajo de investigación, por medio de la consulta de manuales, guías, tesis, para su análisis y descripción en forma íntegra y mediante esta técnica se hizo posible que el estudio se realizara dentro de las condiciones que aseguran la autenticidad de la información.



---

## 4.5 Recursos

Un recurso es una fuente o suministro del cual se produce un beneficio. Normalmente, los recursos son material u otros activos que son transformados para producir ayuda y en el proceso pueden ser consumidos o no estar más disponibles, es decir, son de tiempo limitado. En una investigación se pueden implementar recursos humanos y materiales o físicos.

### 4.5.1 Recurso Humano

El recurso humano estuvo integrado por:

- Tutor Industrial.
- Tutor Académico.

### 4.5.2 Recurso Físico

El recurso físico estuvo formado por:

- Excel.
- Word.
- Formatos, para registrar los datos correspondientes a los estudios.
- El informe del Análisis de gestión operativa del año 2013, realizado por el departamento de Ingeniería Industrial de SIDOR.



#### 4.6 Procedimiento metodológico

A continuación se presenta la tabla 4.1 en la cual se muestra el proceso metodológico empleado para la ejecución de este proyecto.

**Tabla 4.1:** Procedimiento Metodológico

<b>OBJETIVOS</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>MÉTODO/RECURSO</b>
Diagnosticar el proceso de elaboración de palanquillas en la Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro”.	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Descripción de la situación actual de la acería de palanquillas.</li><li>❖ Identificación de los factores que intervienen en el proceso de colada continua.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Observación directa.</li><li>❖ Registro del proceso.</li></ul>
Analizar las demoras que se generan en el proceso.	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Identificación de las demoras encontradas en el proceso.</li><li>❖ Identificación de las demoras por interrupciones operativas.</li><li>❖ Clasificación de las últimas demoras.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Observación directa.</li><li>❖ Registro del proceso.</li><li>❖ Revisión bibliográfica.</li></ul>
Crear un modelo matemático para la optimización del tiempo de las secuencias del proceso.	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Evaluación de la secuencialidad de las actividades de interrupciones operativas.</li><li>❖ Establecimiento del modelo matemático a emplear.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Revisión bibliográfica</li><li>❖ Cálculos de posibles secuencias óptimas.</li><li>❖ Registro del proceso.</li></ul>
Diseñar las medidas para el cumplimiento de la minimización del tiempo de las interrupciones operativas.	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Diseño del método de trabajo con la más óptima secuenciación del proceso.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Cálculos de los datos con el modelo matemático correspondiente a cada actividad.</li><li>❖ Registro de los resultados arrojados.</li></ul>

**Fuente:** Autora



---

## CAPÍTULO V

### SITUACIÓN ACTUAL

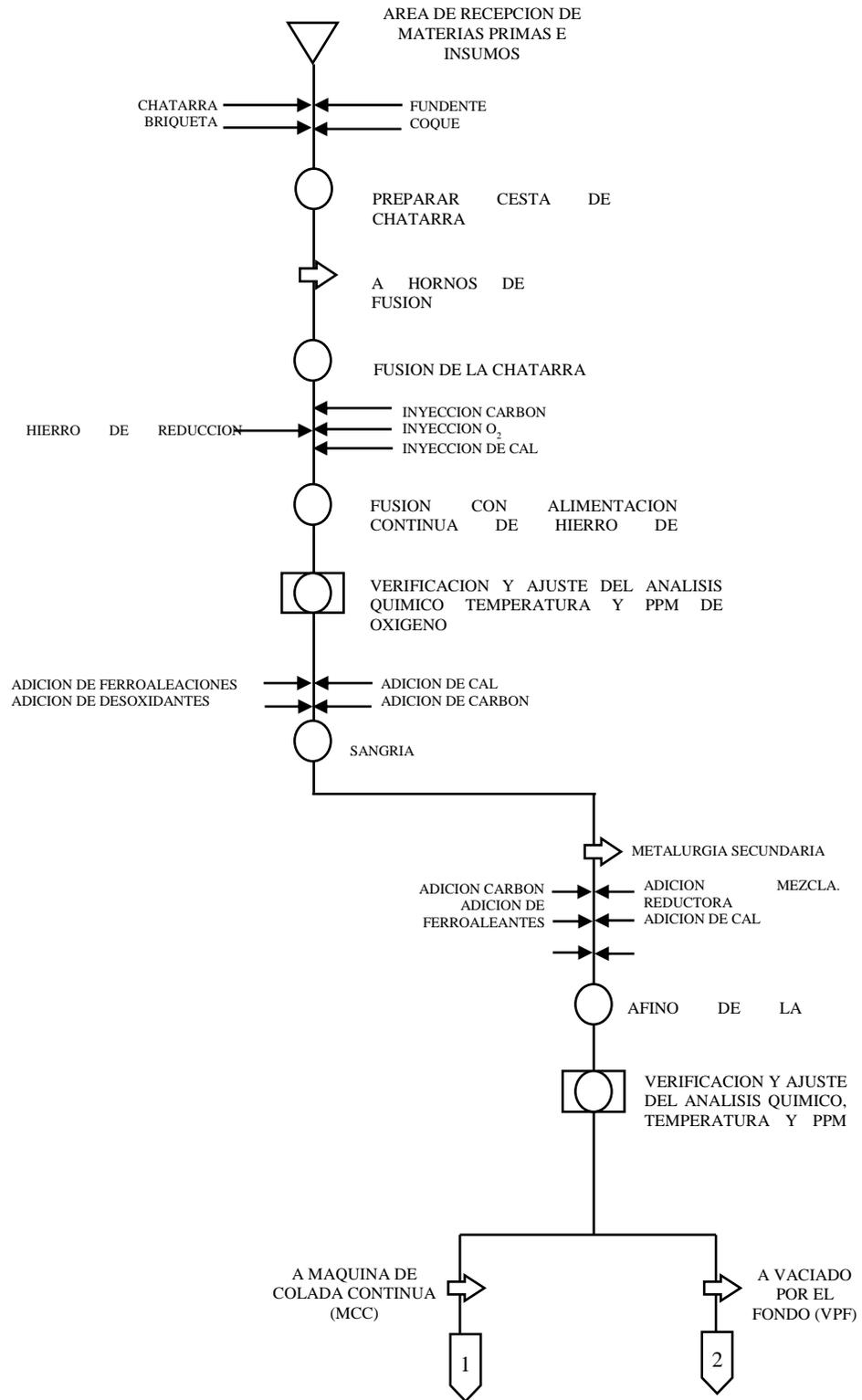
En este capítulo se presenta la situación real en la que se encuentra la empresa y/o situación de trabajo del área de palanquilla.

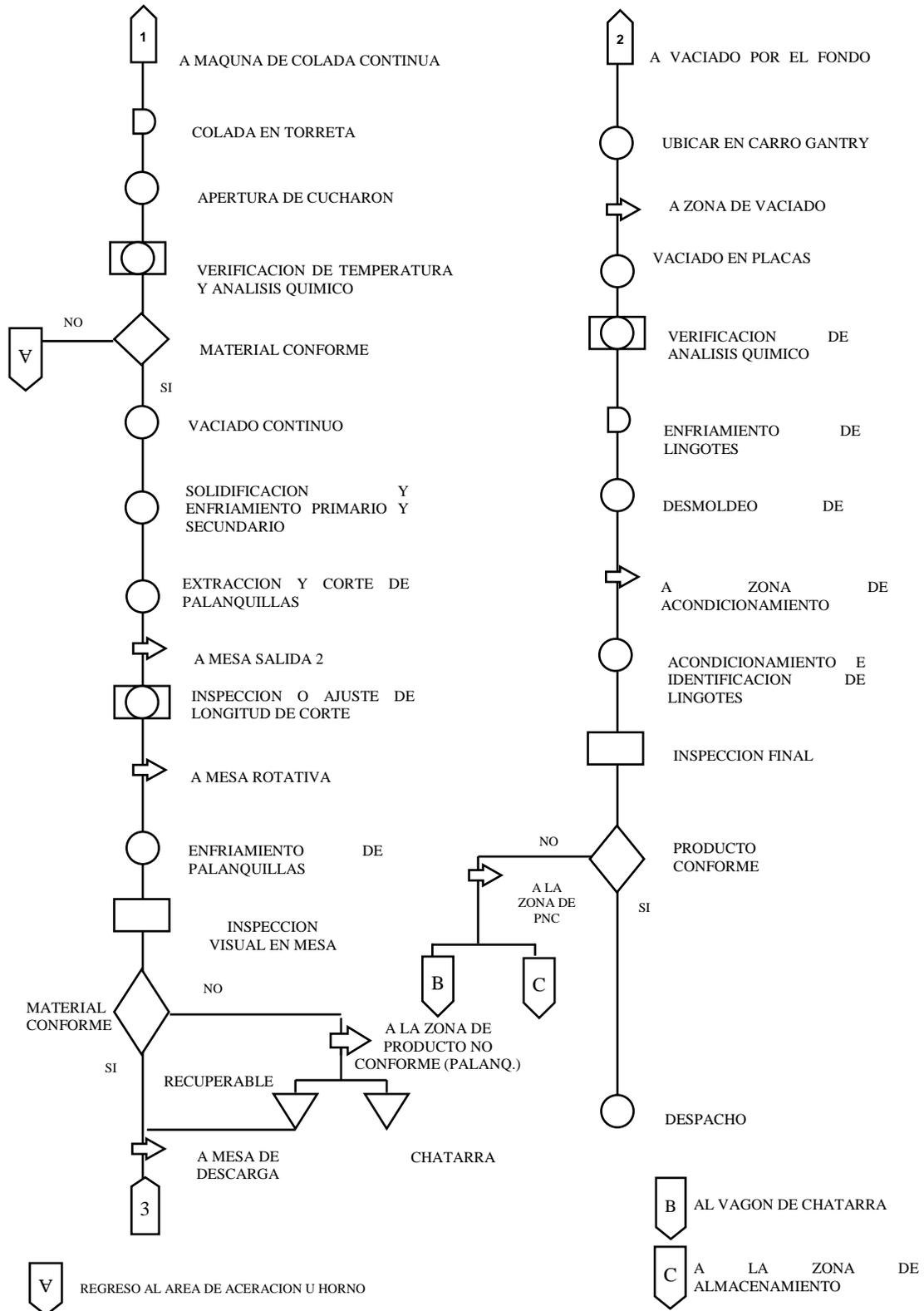
#### **5.1 Diagrama de flujo del área de acería de palanquillas**

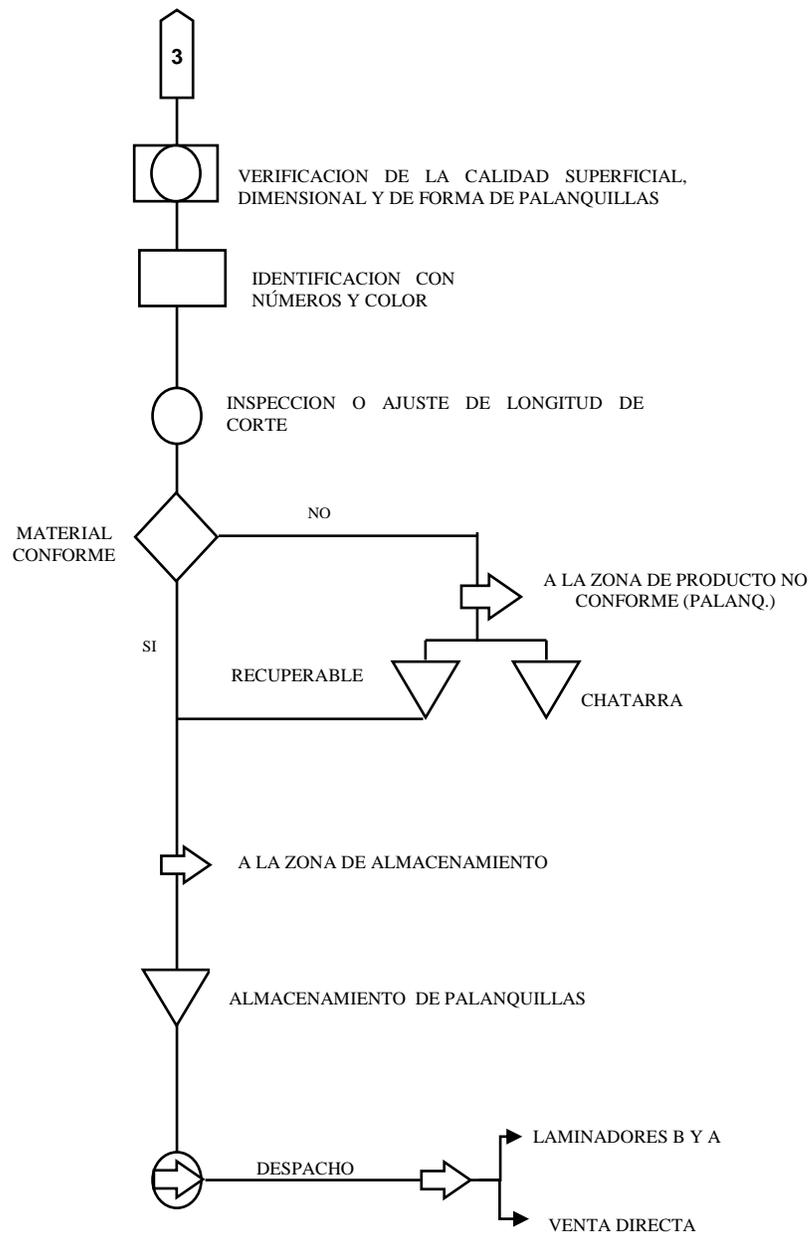
El proceso que se lleva a cabo en el área de Acería de Palanquillas de SIDOR sucede a través de un conjunto de acciones de forma lógica y secuencial, en donde intervienen otras unidades organizativas pertenecientes a la empresa, cuyo procedimiento se abrevia por medio del siguiente diagrama de flujo, en la figura 5.1



**Fig5.1: FLUJOGRAMA DEL PROCESO ACERIA DE PALANQUILLAS**







**Figura 5.1:** Diagrama de flujo de la Acería de Palanquillas

**Fuente:** SIDOR



---

## **5.2. Diagrama de flujo y/o descripción del proceso de las Interrupciones Operativas más Impactantes en el proceso productivo**

Se demostrarán mediante diagramas de flujo y/o descripción de proceso el procedimiento que lleva realizar cada actividad de las interrupciones más impactantes según lo antes demostrado.

### **5.2.1 Interrupciones Otras Operativas Hornos**

En las Interrupciones Otras Operativas Hornos, las voces más impactantes están en *Sistema de Electrodo*s –compuesto por cambio, alargue y rotura de los electrodos-, *Sistema EBT* –compuesto por limpieza, destape y reparación del EBT-, *Revisión de Cuba* y *Bajando Carbono*.

#### **5.2.1.1 Sistema de Electrodo**s

El sistema de electrodos se da a conocer por este nombre debido a que es el conjunto de tres interrupciones operativas referente a los tres electrodos que intervienen directamente en el proceso de fundición de acero en el horno fusión de la Acería de Palanquillas de SIDOR. Estos tres electrodos mencionados sufren de desgaste y/o rotura durante su proceso de utilización, es por esto que se debe detener por cortos instantes de tiempo el proceso productivo para hacer el cambio o alargue de los mismos. A continuación se muestra un diagrama de flujo de cada actividad:



---

## **Descripción del procedimiento de *Alargue de Electrodo***

La actividad “Alargue de Electrodo” es simplemente controlar el nivel de altura que tienen los electrodos con la fundición dentro del horno, mientras más fundiciones hayan sido hechas los electrodos estarán más desgastados (cortos) por lo que es necesario el alargue de estos. De manera general el alargue de electrodo involucra las siguientes actividades:

1. **Chequeo de los electrodos:** Se hace un chequeo previo a cada fundición con el fin de saber el estado del horno y sus componentes, entre los cuáles están los electrodos. Estos son vistos desde fuera del horno y se decide trabajar con ellos a una determinada medida, por lo que si son víctimas de desgaste por otras fundiciones, deben ser alargados. No en todos los casos se alargan los tres electrodos al mismo tiempo.
2. **Petición de grúa:** Se realiza un llamado por radio al encargado de la grúa (gruero) de turno, para solicitar el alargue de los electrodos. Este se traslada con la grúa hasta el horno fusión y espera las indicaciones del jefe de horno, quien procede hacer nuevamente un chequeo de los electrodos para indicar con cual o cuales se irá trabajando.
3. **Pesca de electrodo:** Esta actividad la hace el gruero luego de ser informado con cual electrodo se trabajara, y no es más que tomar al electrodo en cuestión por la agarradera que estos poseen con el gancho de la grúa. Esta actividad puede durar algunos segundos o incluso minutos, ya que se requiere de precisión y mucha concentración de parte del gruero. Este último debe informar por radio al supervisor de horno cuando ya haya pescado al electrodo.
4. **Liberación del electrodo por mordaza porta-electrodos:** Esta actividad se realiza luego que el gruero haya informado la pesca del electrodo, y es ejecutada por el jefe de horno mediante el sistema computarizado de la zona. Este último debe informar al gruero cuando este liberado el electrodo, por medio de radio.

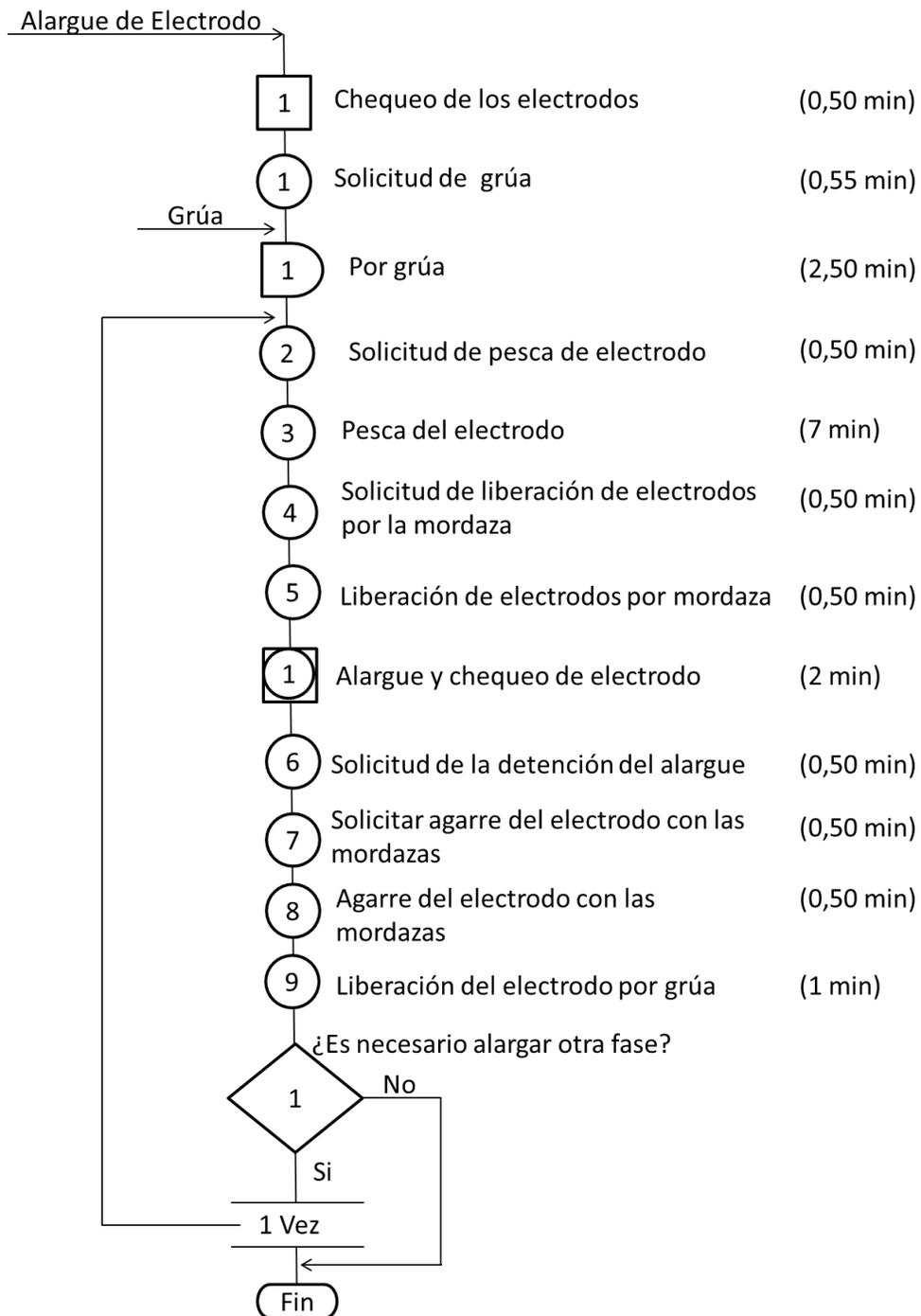


- 
5. Alargue de electrodo: Esta es la actividad principal, y en esta el gruero por medio de la comunicación por radio con el supervisor del horno irá hundiendo el electrodo hacia dentro del horno, hasta que esté a una mediada considerable de trabajo, la cual será indicada por el supervisor, quien estará observando el alargue del electrodo desde afuera del horno pero al nivel de este e indicará al gruero cuando debe detenerse.
  6. Agarre de electrodo por mordaza porta-electrodos: Al finalizar el alargue del electrodo, el supervisor indica que ya debe ser sujetado nuevamente el electrodo por la mordaza que lo habían sostenido antes. Estas son controladas igualmente por el jefe de horno mediante el sistema computarizado ya mencionado.
  7. Liberación de electrodo por grúa: Luego de ser informado del agarre del electrodo por la mordaza, el gruero debe sacar el gancho de la grúa de las agarraderas del electrodo. Se procederá hacer los mismos procedimientos desde la actividad N°3 siempre que se verifique la necesidad de alargue de electrodo en los dos electrodos restantes del horno.

A continuación se muestra en la figura 5.2 el diagrama de flujo de este procedimiento.



**Figura 5.2: Diagrama de Flujo de alargue de electrodos**





**Tabla 5.1: Procedimiento operativo: *Alargue de Electrodo***

<b>Símbolo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo (min)</b>
	Inspección	1	0,50
	Operación	9	11,55
	Demora	1	2,50
	Actividad Combinada	1	2
	Repetición	1	-
	Entrada	1	-
	Decisión	1	-

\*Es de señalar que “*la pesca de electrodo*” realizada por un gruelero experimentado es en promedio de 3min, mientras que realizada por un nuevo gruelero puede extenderse a 6 o 7 minutos.

**Fuente:** Autora

### **Descripción del procedimiento de *Cambio de Electrodo***

El uso constante de los electrodos provoca un desgaste natural de estos, por lo que cada cierto tiempo hay que estarlos chequeando para proceder a alargarlos (procedimiento anterior), pero existe un punto en el cual el nivel de los electrodos no está apto para el alargue, es decir, llegan a estar muy cortos para que los brazos Portaelectrodos los bajen al nivel requerido para realizar el arco eléctrico fundamental del proceso productivo. Es aquí cuando se hace necesario el Cambio de Electrodos desgastados por otros en mejor estado. Esta actividad se detalla de la siguiente manera:

1. Chequeo de los electrodos: Se realiza una inspección visual del estado de los electrodos, y en caso de encontrarse alguno o varios en situación



de desgaste con nula posibilidad de alargamiento, el inspector del horno procede hacer la petición del cambio de electrodo.

2. Petición de grúa: El encargado de la inspección realiza el llamado mediante un radio al guero del turno para proceder con la actividad de cambiar el electrodo.
3. Pesca de electrodo: Luego de ser informado cual fase (electrodo) debe ser cambiada, el guero prosigue a realizar la pesca del electrodo, es decir, tomarlo por la agarradera con el gancho de la grúa. Luego de esto solicita la liberación del electrodo en cuestión.
4. Liberación del electrodo por mordaza porta-electrodos: El guero informa al supervisor del horno que ya ha pescado al electrodo, por lo que es necesario que sea liberado por las mordazas. Esta comunicación se realiza mediante el uso de radios y la apertura de las mordazas (liberación del electrodo) la realiza el supervisor mediante el sistema computarizado con el que se maneja y controla el horno.
5. Cambio de electrodo: Al estar abierta la mordaza porta-electrodo el guero alza al electrodo fuera de la bóveda del horno y lo traslada hasta los bancos de electrodos (existentes dos en la Acería de Palanquillas) donde lo inserta en una fosa para su futura reparación, en dicho banco de electrodos el guero debe tomar otro que se encuentre en condiciones para ser utilizado (debe ser señalado por el armador de electrodos previamente), en este momento realiza una pesca similar al proceso pasado, solo que en esta ya el electrodo saldrá al el jalar el gancho de la grúa. El guero al finalizar la pesca llevara el electrodo hasta el horno y lo posicionará en la fase correspondiente –la altura de este será guiada por el inspector del horno-, luego de hacer este proceso el inspector indicará por radio que el electrodo debe ser sujetado por la mordaza.
6. Agarre de electrodo por mordaza porta-electrodos: El inspector al indicar al supervisor (que se encuentra en la cabina de control del horno) que la



---

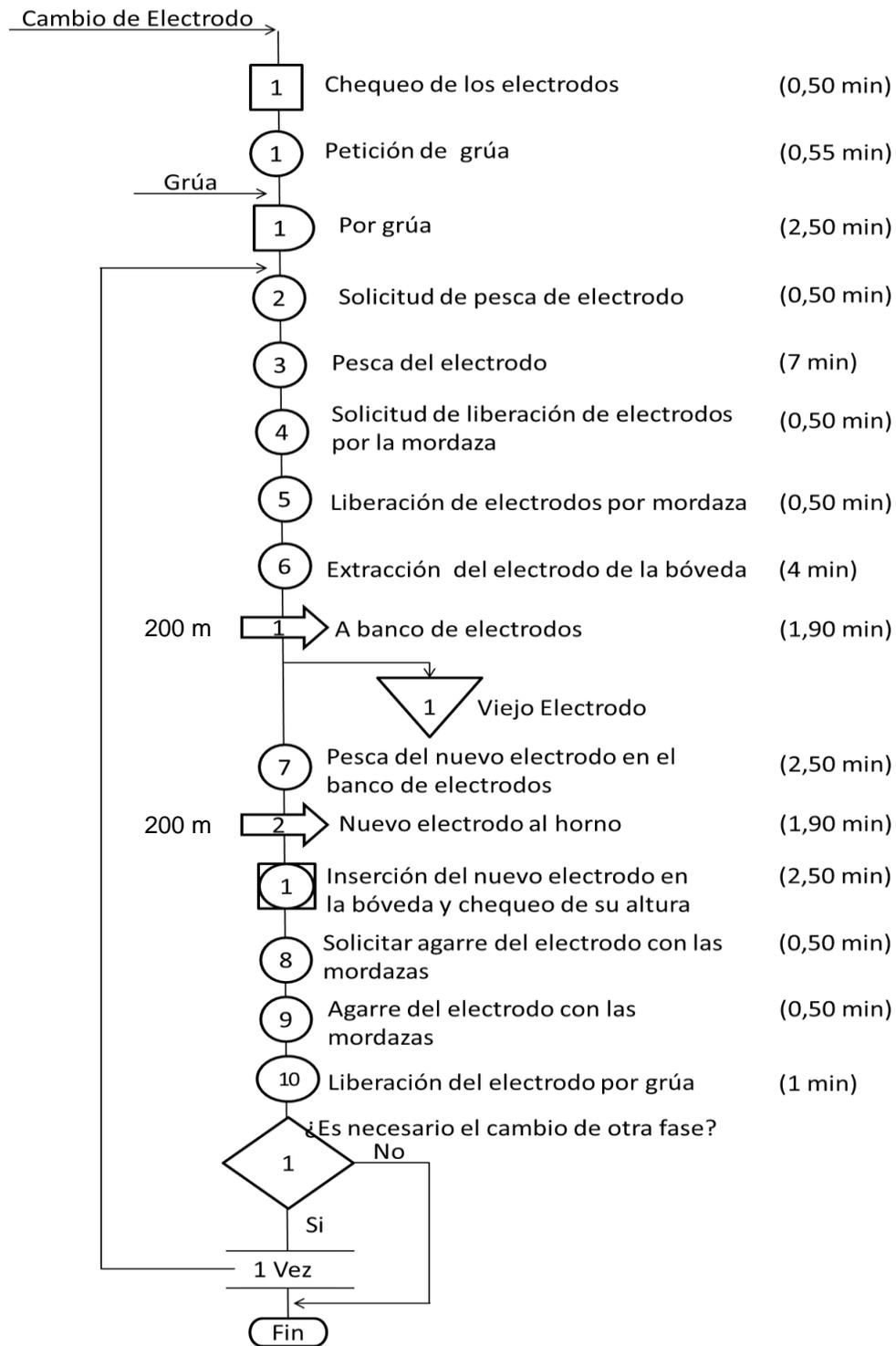
altura del electrodo es la indicada para el trabajo de arco eléctrico, este último mediante el mismo sistema computarizado con el que se controló la apertura de la mordaza, la cerrara para sujetar al electrodo.

7. Liberación de electrodo por grúa: Ya al ser notificado el agarre del electrodo cambiado, el gruero liberará al mismo retirándole el gancho de la grúa.

A continuación se mostrará el diagrama de flujo de este procedimiento en la figura 5.3



**Figura 5.3: Diagrama de Flujo de Cambio de electrodo**





**Tabla 5.2: Procedimiento operativo: Cambio de Electrodo**

<b>Símbolo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo (min)</b>
	Inspección	1	0,50
	Operación	10	17,55
	Demora	1	2,50
	Actividad Combinada	1	2,50
	Transporte	2	3,80
	Almacén	1	-
	Entrada	1	-
	Salida	1	-
	Decisión	1	-

\*Es de señalar que “*la pesca de electrodo*” realizada por un gruelero experimentado es en promedio de 3min, mientras que realizada por un nuevo gruelero puede extenderse a 6 o 7 minutos.

**Fuente:** Autora

### 5.2.1.2 Sistema EBT

Se reconoce como Sistema *EBT* (*Eccentric Bottom Tapping-hole*) al conjunto de tres interrupciones operativas referente al agujero inferior de vaciado de colada (*EBT*) que se encuentra en el horno fusión de la Acería de Palanquillas de SIDOR. A continuación se muestra un diagrama de flujo de cada actividad:



---

## Descripción del procedimiento de la *Limpieza del EBT*

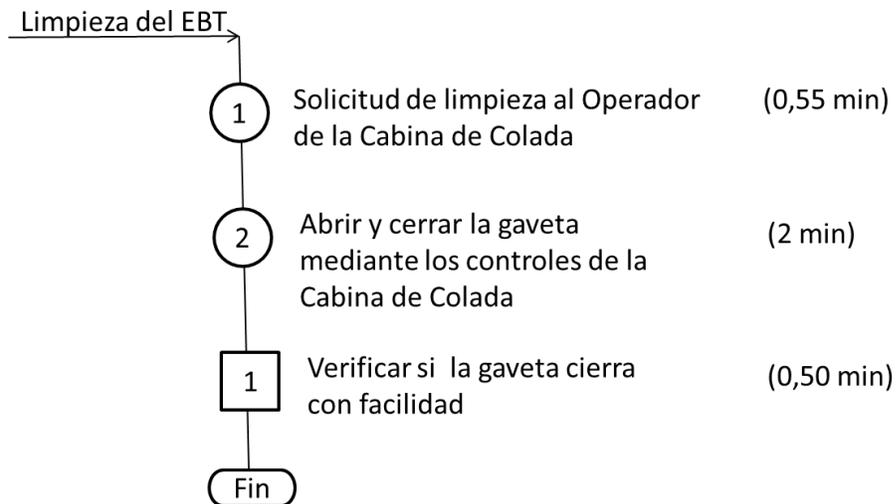
La “Limpieza del *EBT*” es la actividad donde colada a colada se quita el exceso o remanente de material de acero o escoria que queda en el *EBT* luego de finalizar el proceso de vaciado por el fondo. Esto se realiza en cada fin de colada con el objetivo de dejar el orificio de vaciado (*EBT*) limpio para la próxima colada. Paso a paso esta actividad se realiza de la siguiente manera:

1. Solicitud de Limpieza del *EBT*: Cuando se termina de colar mediante radios el jefe del horno solicita al encargado de controlar la tapa del *EBT* (Gaveta) ubicado en la cabina de colada que ya es el momento de la limpieza.
2. Limpieza del *EBT*: Mediante el uso de controles computarizados conectados al horno, el encargado de la limpieza del *EBT* abre y cierra la gaveta hasta que no quede exceso de material de acero o escoria entre la Gaveta y el *EBT*, ya que debe existir un espacio intermedio de aproximadamente 4 cm para que pueda abrir fácilmente para la próxima colada.

A continuación se muestra en la figura 5.4 el diagrama de flujo de este procedimiento



**Figura 5.4: Diagrama de Flujo de Limpieza del EBT**



Símbolo	Actividad	Cantidad	Tiempo (min)
□	Inspección	1	0,50
○	Operación	2	2,55

**Fuente:** Autora

### **Descripción del procedimiento de Destape del EBT**

La actividad “Destape del EBT” es una de las actividades más riesgosas de la acería de palanquillas, ya que se realiza al momento de colar y a una distancia muy próxima al orificio EBT.

En esta, un Técnico de Horno toma con sus manos una pesada lanza refrigerada y la inserta por la parte baja del EBT, esta lanza es transportadora de oxígeno comprimido el cual ayuda al destape del orificio. Esta actividad puede durar minutos e incluso horas, ya que, depende de que tan solidificado esté el material refractario que antes se aplicó para sellar el EBT (este material se aplica en cada colada con la finalidad de no permitir el paso del acero antes



---

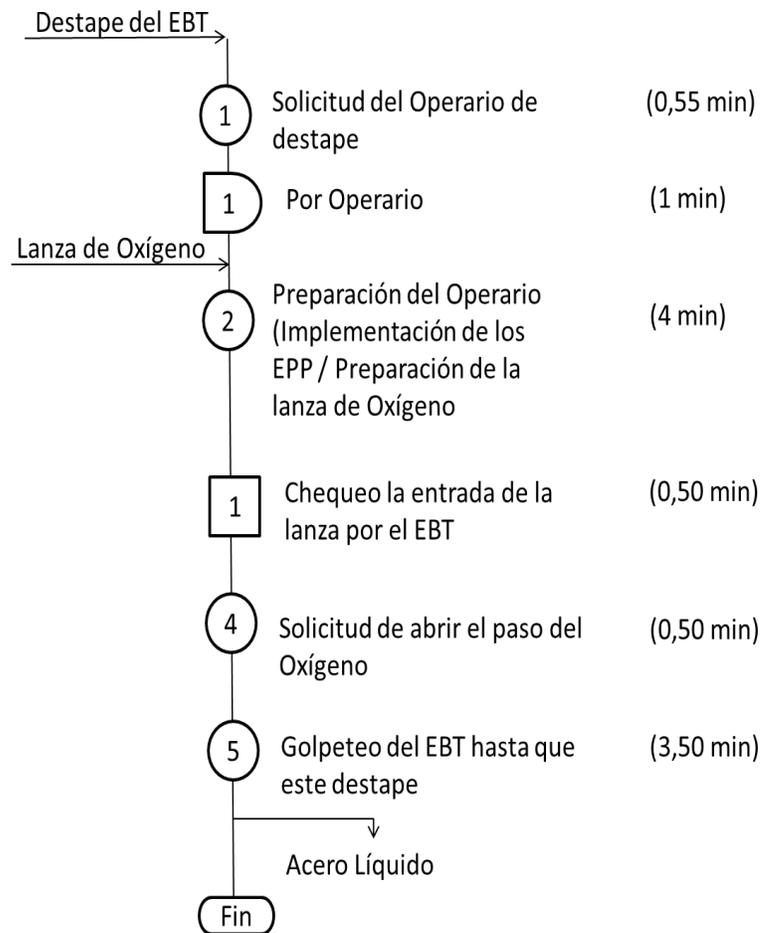
de la completa fundición, y a su vez de proteger la tapa del EBT). Esta actividad se realiza paso a paso de la siguiente manera:

1. Solicitud del Operario: Se solicita al operario encargado del destape del *EBT* mediante radio que se ubique en la zona de destape para proceder con dicha actividad.
2. Preparación del operario y de la lanza de oxígeno: Por ser una zona cercana al horno y en especial al *EBT* (agujero de colada) el operario deberá utilizar el respectivo traje aluminizado especial para fundición, el cual deberá tener puesto antes y durante la realización de la actividad. A su vez en la zona se encuentra una lanza recta de acero refrigerada conectada a una fuente de oxígeno, el operario la doblará en el extremo para que quepa en el agujero de colada (*EBT*), al terminar la preparación de la lanza el operario medirá si la lanza puede fácilmente entrar por el *EBT*, y cuando esto suceda luego pedirá el suministro de oxígeno para atacar la zona en cuestión.
3. Suministro de oxígeno: El operario avisa a su compañero cuando la lanza esté en el *EBT* para que este gire la válvula de oxígeno y así iniciar el golpeteo de la zona por su parte inferior, removiendo así más fácilmente el exceso que en ella exista.
4. Retiro de la lanza de oxígeno y del operario: Al destapar el *EBT* el operario debe retirarse con la lanza del sitio, y apagar el suministro de oxígeno. Estar a la altura del *EBT* cuando se está colando implica peligros de quemaduras.

A continuación la figura 5.5 muestra el diagrama de flujo del destape del *EBT*



**Figura 5.5: Diagrama de Flujo de Destape del EBT**



**Tabla 5.4: Procedimiento operativo: Destape de EBT**

Símbolo	Actividad	Cantidad	Tiempo (min)
□	Inspección	1	0,50
○	Operación	4	8,55
D	Demora	1	1
→	Entrada	1	-
→↓	Salida	1	-

**Fuente:** Autora



---

### 5.2.1.3 Descripción del procedimiento de la *Revisión de Cuba*

Colada a colada el Supervisor del horno realiza una inspección visual del estado de las paredes y la solera del horno, verificando que este se encuentre en óptimo estado para la siguiente colada.

Por tratarse de una inspección visual *no amerita diagrama de flujo*.

### 5.2.1.4 Descripción del procedimiento *Bajando Carbono*

Este evento surge por la necesidad de bajar el contenido de Carbono en la composición del acero que se está fundiendo. El Carbono viene en las pellas (HRD) que son insertadas en el horno para la realización del acero líquido. El sistema computarizado del horno registra el contenido químico (PPM) de cada elemento presente en la fundición, por lo que si el Supervisor nota algún nivel de carbono fuera de los límites necesarios según el tipo de acero a realizar, este envía una muestra del acero al laboratorio para saber con certeza que cantidad de Oxígeno va inyectarle al horno para que éste y el Carbono reaccionen como  $\text{CO}_2$  y por ende baje el contenido del último elemento en el acero. El procedimiento de esta tarea se describe a continuación:

1. Chequeo del nivel de Carbono: El encargado del horno inspecciona en el sistema computarizado del horno el nivel de carbono existente en la colada en curso, si este observa un nivel elevado al requerido (según el tipo de acero) envía una muestra del acero al laboratorio.
2. Muestra al laboratorio: Una pequeña muestra de acero líquido es enviada al laboratorio de palanquillas donde serán estudiados sus componentes y el contenido químico de cada uno en la composición, el resultado será enviado a la cabina del horno vía computarizada.



3. Chequeo de resultados: Al observar los resultados obtenidos del acero en el laboratorio, el supervisor del horno sabrá con exactitud la cantidad de oxígeno que deberá inyectar al horno para que el carbono en conjunto con este reaccionen como  $\text{CO}_2$  y sean extraídos en forma de gas de la composición del acero.
4. Inyección de oxígeno: Mediante tuberías internas en el horno se inyecta oxígeno controlando su nivel por medio del sistema computarizado, y a su vez se eleva la temperatura para que la reacción carbono-oxígeno suceda más rápido y los niveles de carbono sean normalizados.
5. Chequeo de los niveles de carbono: Por último se hace un chequeo del nivel de carbono en el acero para verificar que este se encuentra en la cantidad necesaria (0,10% o menos) para la fabricación del acero requerido por el cliente.

A continuación se muestra en la figura 5.6 el diagrama de flujo de bajando carbono



**Figura 5.6: Diagrama de Flujo de Bajando Carbono**

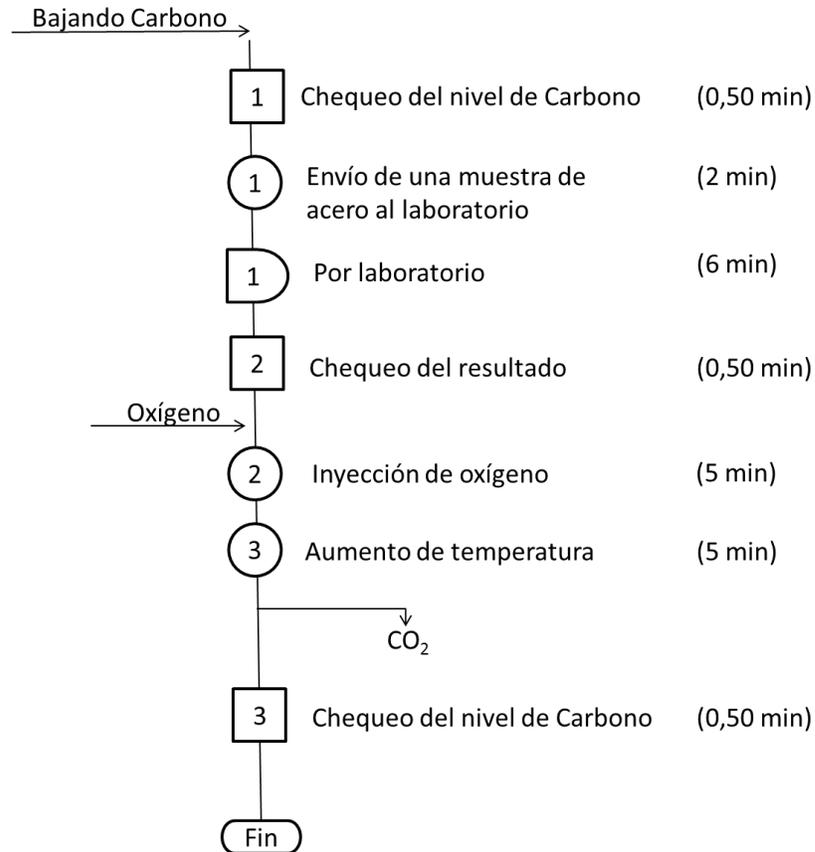


Tabla 5.5: Procedimiento operativo: <i>Bajando Carbono</i>			
Símbolo	Actividad	Cantidad	Tiempo (min)
□	Inspección	3	1,50
○	Operación	3	12
D	Demora	1	6
→	Entrada	1	-
→↓	Salida	1	-

Fuente: Autora



---

### 5.2.1.5 Descripción del procedimiento de *Reparación de bancos*

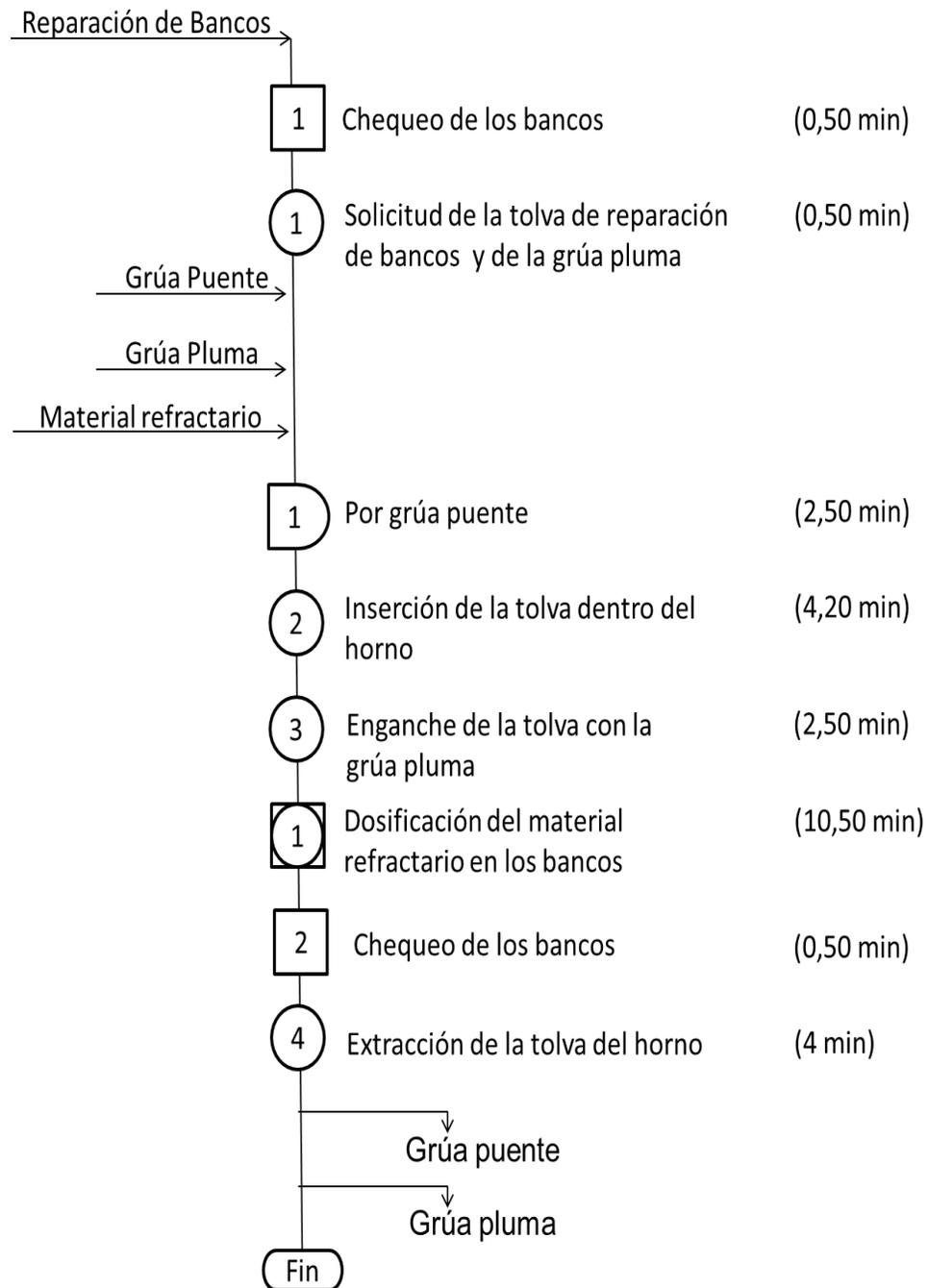
Consiste en la aplicación de material refractario a granel, a la zona inferior de la pared del revestimiento refractario interno del horno, adyacente al piso (solera). El procedimiento para realizar esta tarea es el siguiente:

1. Chequeo de los bancos: Antes de la colada se realiza una inspección visual del estado de las paredes y solera del horno, y es ahí donde se realiza también el chequeo del estado de los bancos (rampa entre la pared y la solera del horno).
2. Solicitud del material y equipo de reparación: El supervisor del horno solicitará al guero de la grúa puente que traslade la tolva de reparación de bancos desde su lugar de almacén hasta dentro del horno. De igual manera solicitará la grúa pluma para con esta manejar la tolva cuando esté dentro del horno.
3. Inserción de la tolva dentro del horno: El guero izará la tolva en su lugar de almacenaje y desde allí la trasladará hasta el horno, donde la ubicará en la solera del mismo y luego la liberará. Posterior a esto la grúa pluma deberá enganchar la tolva para así controlar la dosificación del material refractario.
4. Dosificación del material refractario: Luego de tomar la tolva con la grúa pluma se procede a dosificar el material refractario en la zona adyacente a la solera y pared del horno hasta formar una especie de rampa. Esta actividad se realizará supervisando las cantidades de material agregadas y la zona afectada.
5. Chequeo de los bancos: Por último se realiza un chequeo general de cada zona del interior del horno. Al verificar el perfecto estado de las partes se procede a desenganchar la tolva de la grúa pluma y a ser izada por la grúa puente para ubicarla en su lugar de almacén.

A continuación se muestra en la figura 5.7 el diagrama de la reparación de bancos.



**Figura 5.7: Diagrama de Flujo de Reparación de Bancos**





<b>Símbolo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo (min)</b>
□	Inspección	2	1
○	Operación	4	11,20
D	Demora	1	2,50
◻	Actividad Combinada	1	10,50
→	Entrada	3	-
→↓	Salida	2	-

*Fuente:* Autora

## **5.2.2 Interrupciones Operativas de Reparación en Caliente**

Las interrupciones correspondientes a la “Reparación en Caliente”, no son más que el hecho de agregar mezcla preparada de material refractario a las paredes internas del horno. A continuación se muestra mediante diagramas de flujos la manera de realizarse dicha actividad.

### **5.2.2.1 Descripción del procedimiento de *Parchado***

El Parchado es la aplicación mecánica de una mezcla de material refractario con agua, a las paredes del revestimiento refractario interno del horno. El proceso para la realización de esta tarea es el siguiente:

1. Chequeo de Cuba: Se realiza una inspección visual de las paredes y solera del horno para verificar el estado de los mismos y a su vez



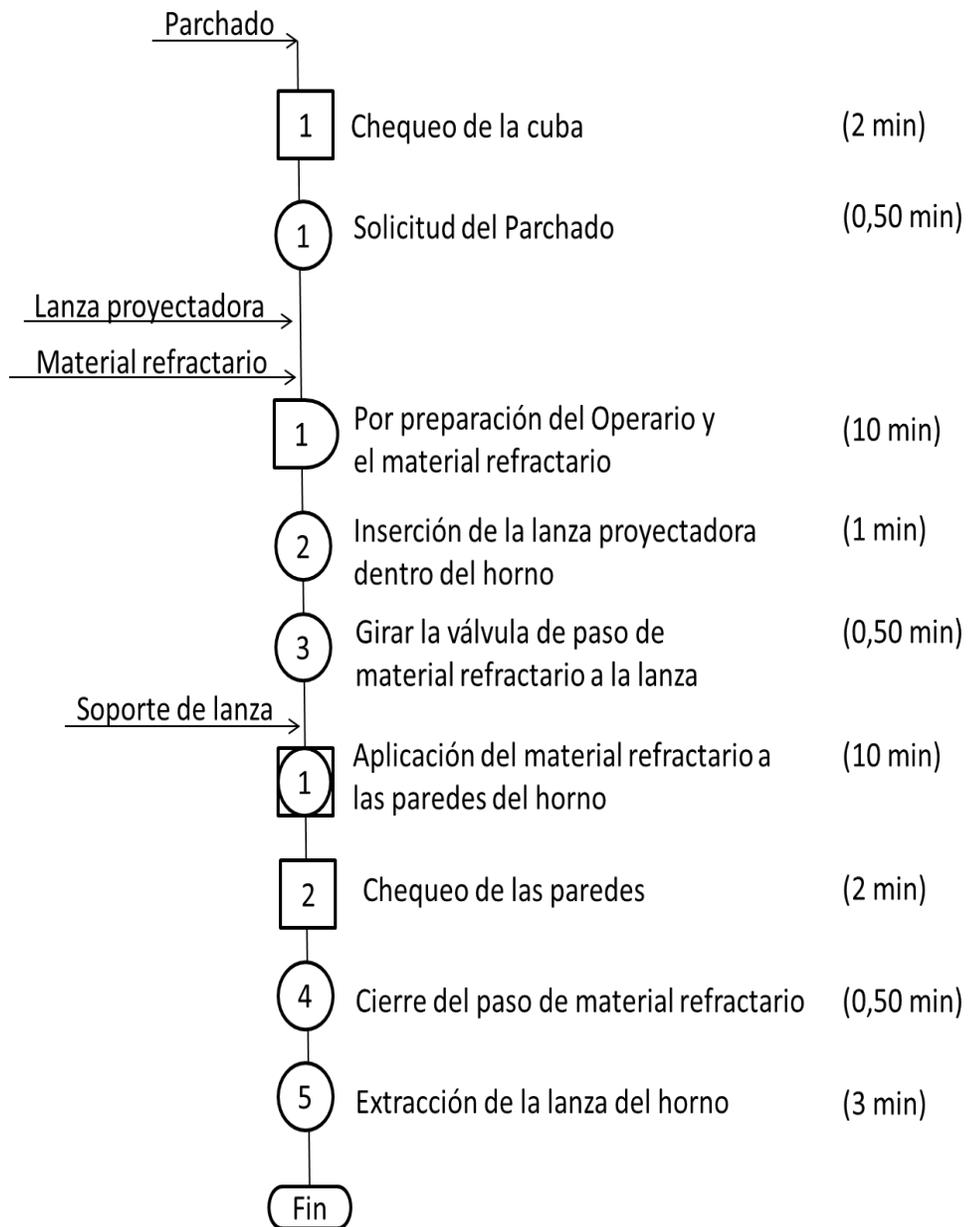
reconocer las áreas que deben ser más cubiertas, en caso de necesitarse el parchado.

2. Solicitud del Parchado: Al comprobar la necesidad de recubrimiento con material refractario de las zonas antes mencionadas del horno, se solicita al parchador sus servicios.
3. Preparación del operador y utensilios: El operador debe utilizar la indumentaria requerida para el trabajo cerca del horno (traje aluminizado). Luego de llevar consigo los EPP requeridos procede a preparar la lanza proyectadora de material refractario, a ubicarla dentro de la puerta del horno y luego a girar la válvula de paso del material. Luego de esto procede a tomar el soporte de la lanza para ubicarlo debajo de la lanza para manipularla con mayor facilidad (este soporte es cargado por el operario hasta la puerta del horno, pesa alrededor de 10kg y el traslado es de 5m aproximadamente).
4. Aplicación del material refractario: Al tener control de la lanza proyectadora, el operador podrá aplicar el material a las áreas necesitadas.
5. Chequeo de las paredes y piso (solera): El operador puede detener su trabajo para acercarse a la puerta del horno y realizar una inspección visual de las áreas internas del mismo, para saber si debe continuar.
6. Cierre del paso de material: Al chequear que las paredes ya han sido reparadas, el operador se dirige hacia la válvula de paso de material para cerrarla. Luego de esto retira la lanza de la puerta del horno y la ubica en su lugar de reposo, al igual que el soporte de dicha lanza.

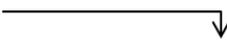
La figura 5.8 muestra el diagrama de flujo del parchado



**Figura 5.8: Diagrama de Flujo del Parchado**





<b>Símbolo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo (min)</b>
	Inspección	2	4
	Operación	5	5,50
	Demora	1	10
	Actividad Combinada	1	10
	Entrada	3	-
	Salida	2	-

**Fuente:** Autora

### **5.2.3 Interrupciones Operativas de Servicios de Acería**

Las interrupciones de Servicio de Acería son las referentes al cuidado y mantenimiento de la limpieza y seguridad de la Acería de Palanquillas. Actualmente en SIDOR estas interrupciones representan el 63,33% de todas las interrupciones operativas. En total se ha presentado un acumulado de 7668,3 h en conjunto de todas las Interrupciones Operativas, de las cuales 2180,6 h han sido a causa de las Interrupciones Otras Operativas Horno, mientras que las Interrupciones de Reparación en Caliente se han tomado un tiempo total de 631,1 h; y las Interrupciones de Servicio de Acerías un lapso de 4857 h, lo que representa el 63,33% mencionado. Esto es resultado del estudio que comprende datos desde 2009 hasta Junio de 2014.



---

Es de mencionarse que los eventos de Servicios de Acería no se representarán en diagramas de flujo debido a la naturaleza cambiante (no rutinaria) de los mismos.



---

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestran los análisis de la situación presente en la Acería de Palanquillas de SIDOR, y de igual manera los resultados del estudio realizado.

#### **6.1 Diagnóstico del proceso de elaboración de Acero Líquido en los Hornos Fusión (Horno de Arco Eléctrico) de la Acería de Palanquillas de SIDOR, C.A.**

El Horno de Arco Eléctrico (*Electric Arc Furnace*) (*EAF*) es actualmente la forma más común de reciclar acero a partir de chatarra y *HRD*. Existe una amplia variedad de chatarra de acero, tanto en términos de composición (desde el acero al carbono hasta el acero altamente aleado para herramientas) como de geometría (desde una chapa de acero finamente triturada hasta grandes vigas). Mediante la fusión del *HRD* y/o la chatarra en el horno con la ayuda de electrodos y corriente eléctrica, un acero nuevo y funcional puede ser producido a partir de viejos productos. En lugar de utilizar nuevos recursos de materia prima, elementos de acero básicos y aleaciones valiosas pueden ser



---

reutilizados, lo que es beneficioso tanto desde un punto de vista económico como ambiental.

El calor que se requiere para fundir HRD y/o chatarra de acero es provisto por los arcos eléctricos generados entre los electrodos y el material (HRD y/o chatarra) en el horno. La energía eléctrica de un horno de arco eléctrico (EAF) estándar varía entre los 50-120 MW, dependiendo del tamaño del horno. La fusión del material ocurre en un rango de temperaturas de 1500-1550°C, dependiendo de la composición de la chatarra de acero y del HRD. Luego que el material ha sido fundido, la temperatura normalmente es aumentada a los efectos de llevar a cabo las reacciones de afino. Se podrá inyectar oxígeno y carbono en las fases acero y escoria, respectivamente. Sin embargo, las reacciones pueden también crear productos nocivos para la calidad del acero y por consiguiente necesitan ser cuidadosamente manipulados. Para ello, se forma una escoria con la ayuda de agentes escorificantes, tales como cal, dolomita y fluorita. La escoria, al tener una densidad menor que el acero, normalmente flota en la superficie del acero. Además de absorber las impurezas del acero, la escoria también lo protege de la atmósfera. Más aún, protege las paredes del horno de los arcos, aumentando así la eficiencia eléctrica. Por lo tanto, es de gran importancia mantener una alta calidad de escoria y proporcionarle propiedades espumantes. Una vez que la chatarra ha sido fundida y afinada a la composición y temperatura deseadas, el contenido es volcado en una cuchara para su tratamiento secundario y colado. La colada se realiza a través de un orificio de colada ubicado en el fondo del horno (EBT).

Durante el proceso productivo se van presentando situaciones conocidas como Interrupciones Operativas del Horno, estas interrupciones se dan por la necesidad del buen funcionamiento del Horno, es decir, se realizan para que el horno continúe su función normal evitando daños posibles.



---

### **6.1.1 Definición de las Interrupciones Operativas**

Se conoce como interrupciones operativas a un conjunto de eventos no programados o de manera intempestiva que ocasionan la detención del proceso productivo. Asimismo, las actividades que se realizan en pro de eliminarlas y así retomar el régimen productivo, depende del Departamento. de Producción de la Planta (Operaciones).

### **6.1.2 Componentes de las Interrupciones Operativas**

Las Interrupciones Operativas están compuestas de una determinada cantidad de eventos y/o voces de interrupciones. Éstas se denominan según la actividad a realizar y las más importantes se detallan de la siguiente manera:

#### **6.1.2.1 Otras Operativas Hornos**

Las interrupciones denominadas “Otras Operativas Horno”, no son más que las actividades que se deben ejecutar al horno, bien sea como parte del proceso tecnológico de fabricación propiamente dicho (que implique retraso en la producción) o aquellas que simplemente se presentan durante el régimen productivo pero que no necesariamente puedan preverse. A continuación, se mencionan las más importantes en la tabla 6.1



**Tabla 6.1:** Voces más resaltantes de las Interrupciones Otras Operativas Horno

<b>Otras Operativas Horno</b>	Limpieza EBT
	Cambio de electrodo
	Revisión de cuba
	Cargando cesta
	EBT no destapa
	Bajando carbón
	Reacción en hornos
	Reparación de bancos
	Regresando acero
	Alargue de electrodo
	Falta de personal
	Bajando fosforo
	Incumplimiento de practica operativa
	Reparación EBT
	Rotura de electrodo
Grúas ocupadas	

**Fuente:** Autora

### 6.1.2.2 Reparación en Caliente

Las interrupciones “Reparación en Caliente”, no son más que agregar mezcla preparada de material refractario a las paredes internas del horno. Debido a la naturaleza del proceso de fusión de HRD y de chatarra a alta temperatura, la pared refractaria del horno sufre desgaste y por ende perdida de espesor. Con el fin de garantizar la integridad del mismo (por razones de Costos y de Seguridad), este desgaste debe ser repuesto o agregado nuevamente.



### 6.1.2.3 Servicios de Acería

Las Interrupciones llamadas “Servicios de Acería” no son más que las actividades que garantizan la limpieza pesada de desechos generados en la acería, propias de la generación de escoria siderúrgica. Para la prestación de éste servicio, es necesario contar con equipos móviles especializados pesados (*Pot Carriers*), así como envases de gran volumen y peso para contener escoria líquida (Potes de Escoria). A continuación las voces más resaltantes de las interrupciones Servicios de Acería en la tabla 6.2

**Tabla 6.2:** Voces más resaltantes de las Interrupciones Servicios de Acería

<b>Servicios Acería</b>	Falta de Limpieza de Fosa
	Falta de Cambio de Pote (Sobrepeso)
	Falta de Cambio de Pote (Doble Pote)
	Falta de Cambio de Pote (Falta de Pote)
	Falta de Cambio de Pote (Perforación de Pote)
	Falta de Cambio de Pote (Falta de Pot Carrier)
	Esperando Análisis Químico del Laboratorio
	Rebose de Pote de Escoria
	Escoria Reactiva

**Fuente:** Autora

## 6.2 Análisis de las Interrupciones que se generan en el proceso productivo

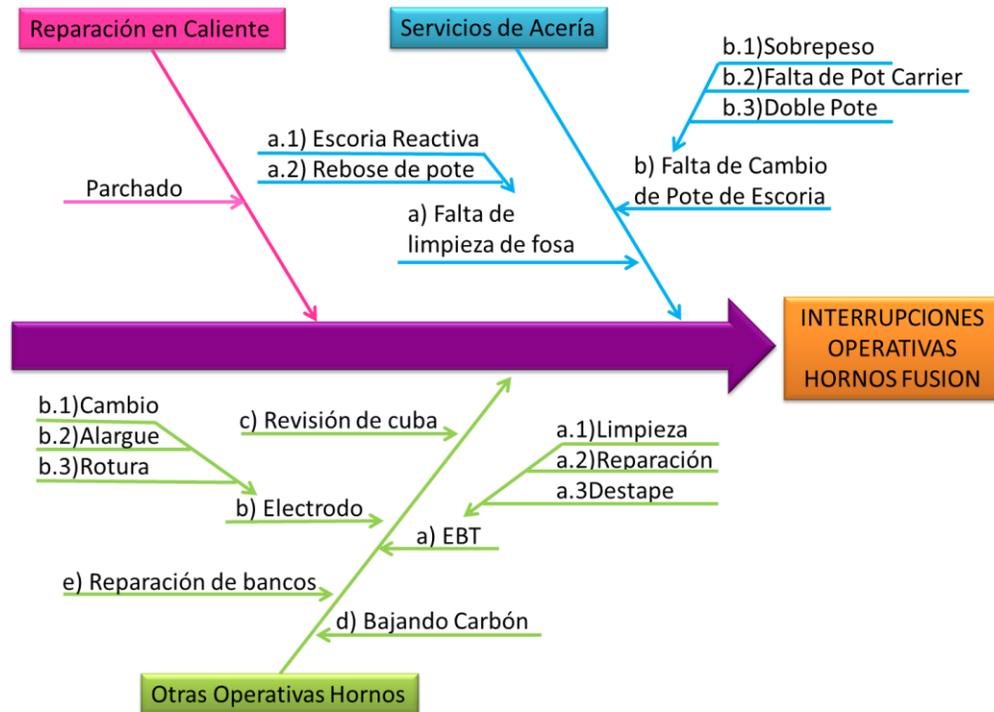
### 6.2.1 Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto)

Ya mencionados los componentes de las Interrupciones Operativas que se generan en la Acería de Palanquillas de SIDOR es requerido un análisis que



indique de forma general las causas que originan dichas interrupciones. A continuación se muestra un diagrama de causa – efecto (Ver Figura 6.1)

**Figura 6.1** Diagrama Causa – efecto de las Interrupciones Operativas



**Fuente.** Autora

El diagrama mostrado anteriormente es una herramienta que permite establecer relaciones de causa – efecto con respecto a la problemática planteada, en la cual se hace referencia a las causas principales que ocasionan demoras en el tiempo de las interrupciones operativas. Para ello se dividieron en los tres componentes de las interrupciones:



---

### 6.2.1.1 Causas de las demoras durante las interrupciones Otras Operativas Horno:

**a) Sistema EBT (*Eccentric Bottom Tapping-hole*):** En esta zona del horno, se presentan ciertas actividades propias del proceso de fabricación, las cuales son la limpieza, el destape y la reparación del EBT, el cual debe estar en las condiciones requeridas para cada colada. Es de hacer notar que el Sistema EBT permite el vaciado del contenido de acero líquido del horno al cucharón (recipiente o vehículo de transporte del acero líquido) para las etapas siguientes de fabricación.

**a.1) Limpieza de EBT:** Esta consiste tanto en abrir y cerrar la tapa del EBT varias veces, para eliminar los residuos de la colada recién obtenida del horno (escoria) o rebaba de acero que debe ser removida manualmente (soplete).

**a.2) Destape de EBT:** Esta actividad consiste en la aplicación de oxígeno a alta presión (mediante una lanza manipulada manualmente) a la parte inferior del EBT. Esta actividad se ejecuta cuando el horno no logra colar espontáneamente cuando se abre el EBT (previo a colar). Esta operación no se realiza de manera frecuente, pero si ocurre.

**a.3) Reparación de EBT:** Esta actividad consiste en la aplicación de material refractario de relleno en las paredes internas del EBT. Los anillos del EBT se desgastan colada a colada, con lo cual esta actividad se realiza cada 70 u 80 coladas.

**b) Sistema Electrodo:** Aquí se hace referencia a las interrupciones referidas al cambio, alargue y/o roturas de electrodos, lo cual posee cierta frecuencia de ocurrencia debido a la naturaleza del electrodo (insumo consumible).



---

**b.1) Cambio de electrodo:** Se hace cuando este o estos se encuentran cortos, es decir, de menor longitud y esta condición hace que no se logre hacer arco eléctrico (contacto con el baño de acero líquido o carga metálica contenida en el horno). El cambio consiste en izar el electrodo el cual está sujeto a la mordaza del brazo portaelectrodo y reemplazarlo por otro de longitud adecuada (la actividad se realiza con una grúa puente).

**b.2) Alargue de electrodo:** Consiste en acercar o descender el electrodo lo más posible a la zona de fusión dentro del horno, con el fin de lograr el arco eléctrico (contacto electrodo – carga metálica). Esto se realiza con la ayuda de una grúa puente y en conjunto con el técnico del horno.

**b.3) Rotura de electrodo:** Se presenta cuando la sección del electrodo rompe o se fractura, debido a varias causas (falta de establecimiento de arco eléctrico, contacto con borde de bovedín, desajuste en brazo portaelectrodo, etc.). En ocasiones, se debe extraer secciones que caen dentro del horno. Esto se realiza con la ayuda de una grúa puente y en conjunto con los técnicos del horno.

**c) Revisión de cuba:** Consiste en verificar mediante inspección visual las condiciones físicas del revestimiento refractario del horno, con el fin de tener certeza acerca de la integridad del revestimiento refractario mencionado. Por razones técnicas y de seguridad para los equipos y al personal, se hace colada a colada.

**d) Bajando Carbón:** Consiste en la inyección de oxígeno a un caudal de 800 m<sup>3</sup>/hr con el fin de reducir el contenido de carbono disuelto en el baño de acero líquido. Cabe destacar que el *HRD* posee un contenido de carbón fijo que va de 1,8 a 2,2% aproximadamente. Mediante el oxígeno, se genera dióxido y monóxido de carbono en forma de gas (se logra por medio de la



---

reacción química entre el carbón y el oxígeno), hasta llegar a valores de 0,10% o menos tal y como se requiere.

**e) Reparación de bancos:** Consiste en la aplicación de material refractario a granel, a la zona inferior de la pared del revestimiento refractario interno del horno, adyacente al piso (solera).

#### **6.2.1.2 Causas de las demoras durante las interrupciones Reparación en Caliente:**

**Parchado:** Consiste en la aplicación mecánica de una mezcla de material refractario con agua, a las paredes del revestimiento refractario interno del horno. Esta operación se hace manualmente, mediante el uso de una máquina proyectadora a presión.

#### **6.2.1.3 Causas de las demoras durante las interrupciones Servicios de Acería:**

**a) Falta de limpieza de Fosa de Hornos:** Es cuando el horno se detiene debido a la acumulación de escombros, escoria fría, etc., ubicado tanto en la fosa de hornos como del escoriadero, lo cual impide tanto la circulación adecuada del carro portacucharón como la colocación del pote de escoria. La demora en sí es debida al tiempo en que los equipos pesados (*Payloader*) tardan en realizar las limpiezas correspondientes.

**a.1) Escoria reactiva:** Cuando ésta situación se presenta, la reacción de la escoria con el oxígeno y el carbono (inyectado o el presente en el *HRD*), ocasiona derrame o rebose de escoria.



---

**a.2) Rebose de Pote de Escoria:** El rebose generalmente se presenta en el pote de escoria, lo cual debe de limpiarse al retirar el pote (implicando demora en dicha limpieza). Asimismo, al haber derrame (desde la puerta de escoria), ésta cae al nivel cero metros, implicando demora igualmente, por la necesidad de realizar la limpieza

**b) Cambio de Pote de Escoria:** Esta interrupción tecnológica se presenta cuando el pote de escoria debe ser retirado

**b.1) Sobre peso:** Esta interrupción se genera cuando la colada en proceso genera más de 30 toneladas, es decir, exceso de ganga en el HRD en fusión (Ganga: óxidos no ferrosos, los cuales los más comunes son óxido de silicio  $\text{SiO}_2$ , óxido de aluminio  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , pentóxido de fósforo  $\text{P}_2\text{O}_5$ , etc.).

**b.2) Falta de Pot Carrier:** Esta demora es generada cuando no se tiene disponible equipo pesado especial para el retiro de potes de escoria (Pot Carrier), debido a indisponibilidad por varias razones: fallas mecánicas, labores de mantenimiento de los equipos, falta de personal (fuerza laboral), etc. A capacidad instalada de las Acerías de SIDOR (Acería de Planchones: 4 hornos fusión / Acería de Palanquillas: 2 Hornos Fusión), el parque de Pot Carrier debe ser de seis (6) unidades.

**b.3) Doble Pote:** Esta interrupción se genera al igual que la de sobre peso, cuando la colada en proceso genera más de 30 toneladas, es decir, exceso de ganga en el HRD en fusión. Debido al volumen de escoria generado por colada, se deben usar 2 o hasta 3 potes de escoria para poder continuar el proceso productivo. Lo habitual / normal (según el contenido de ganga histórico del HRD fabricado en SIDOR) es usar 1 pote de escoria por colada.



---

## **6.2.2 Impacto de las Interrupciones Operativas**

Cuando se habla del Impacto de las Interrupciones Operativas, se refiere al tiempo de la interrupción del horno debido a una o al conjunto de las voces mencionadas anteriormente (o causas), así como a las actividades que se ejecutaron en dicho momento para reestablecer el régimen productivo de los hornos fusión. El impacto que se menciona a continuación es durante el período abarcado desde Enero de 2009 hasta el acumulado de Junio de 2014.

### **6.2.2.1 Impacto en el tiempo de las Interrupciones de Otras Operativas Horno**

El comportamiento de los tiempos de ejecución de las actividades que conforman las interrupciones Otras Operativas Hornos, se puede observar en la siguiente tabla (*ver Tabla 6.3*)



**Tabla 6.3:** Impacto de las actividades Otras Operativas Horno (hr/año)

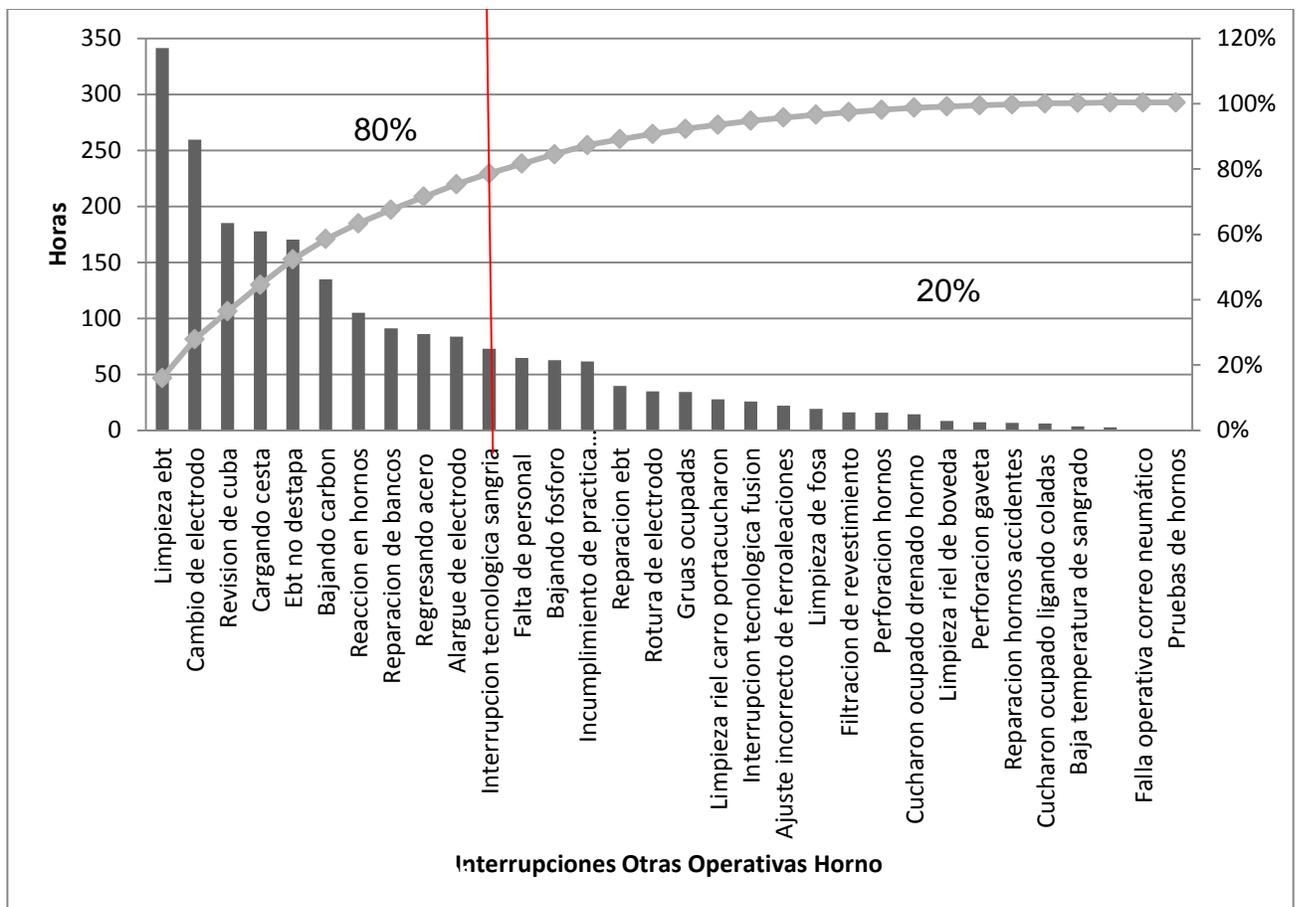
Descripción del Evento	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total gral.	%	Porcentaje Acumulado
Limpieza ebt	68,7	47,5	111,5	51,5	48,0	14,0	341,2	16%	16%
Cambio de electrodo	84,9	47,2	62,3	27,7	31,5	6,0	259,6	12%	28%
Revisión de cuba	64,1	30,4	36,5	29,7	17,3	7,0	185,1	8%	36%
Cargando cesta	81,5	25,8	51,8	14,4	3,9	0,3	177,7	8%	45%
Ebt no destapa	39,2	24,9	42,4	31,1	28,2	4,6	170,3	8%	52%
Bajando carbón	22,4	31,1	56,5	18,3	5,3	1,2	134,9	6%	59%
Reacción en hornos	25,3	7,5	39,8	17,2	14,4	0,9	105,0	5%	63%
Reparación de bancos	13,1	12,0	30,0	9,9	21,4	4,6	91,0	4%	68%
Regresando acero	21,0	17,2	28,0	11,3	7,2	1,2	85,9	4%	71%
Alargue de electrodo	26,3	16,9	20,1	9,0	9,2	2,2	83,8	4%	75%
Interrupción tecnológica sangría	19,1	10,8	21,1	10,4	9,1	2,4	72,9	3%	79%
Falta de personal	23,6	9,1	12,9	9,2	9,3	0,4	64,5	3%	82%
Bajando fósforo	9,1	10,2	32,0	9,7	1,3	0,2	62,6	3%	84%
Incumplimiento de práctica operativa	4,1	11,7	26,8	13,3	5,0	0,6	61,5	3%	87%
Reparación ebt	9,4	3,5	14,8	6,7	5,1	0,2	39,6	2%	89%
Rotura de electrodo	9,3	5,8	5,6	5,8	6,9	1,5	34,9	2%	91%
Gruas ocupadas	14,6	3,8	12,7	1,8	1,0	0,1	34,1	2%	92%
Limpieza riel carro portacucharón	16,1	1,9	2,5	3,2	3,4	0,5	27,7	1%	94%
Interrupción tecnológica fusión	5,2	3,9	6,9	5,1	4,1	0,6	25,8	1%	95%
Ajuste incorrecto de ferroaleaciones	3,4	2,4	9,2	4,1	2,5	0,4	22,1	1%	96%
Limpieza de fosa	4,9	1,0	5,5	1,8	5,8	0,1	19,1	1%	97%
Filtración de revestimiento	2,7	0,6	10,6	0,4	1,8		16,2	1%	97%
Perforación hornos		1,1	0,2	6,3	8,4		15,9	1%	98%
Cucharón ocupado drenado horno	5,5	1,1	2,8	4,3	0,5		14,2	1%	99%
Limpieza riel de bóveda	5,5	0,8	1,5	0,0	0,4	0,0	8,3	0%	99%
Perforación gaveta	3,0				4,2		7,2	0%	99%
Reparación hornos accidentes	3,1	0,0	3,5	0,1	0,1	0,1	6,8	0%	100%
Cucharón ocupado ligando coladas	1,2	3,1	1,3	0,2	0,4		6,1	0%	100%
Baja temperatura de sangrado	1,0	0,2	0,3	1,9	0,2		3,6	0%	100%
Cucharón ocupado trasegando coladas	0,4	0,4	1,8	0,2		0,1	2,8	0%	100%
Falla operativa correo neumático				0,1			0,1	0%	100%
Pruebas de hornos			0,0				0,0	0%	100%
<b>Total general</b>	<b>629,0</b>	<b>359,2</b>	<b>723,8</b>	<b>348,0</b>	<b>281,9</b>	<b>55,3</b>	<b>2180,6</b>	<b>100%</b>	

**Fuente:** Sistema de Interrupciones (SI) – Dpto. Ingeniería Industrial (INDU–SIDOR)- Acería de Palanquillas



A continuación se presenta un diagrama de Pareto basado en los datos mostrados en la tabla anterior donde se expresa el comportamiento de las Interrucciones Operativas denominadas “Otras Operativas Horno”, que impactan en el funcionamiento normal de la Acería de Palanquillas durante los años 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 y el acumulado a Junio 2014.

**Gráfico 6.1:** ABC de Interrucciones Otras Operativas Horno de Hornos Fusión A-150 (2009-Acum 2014)



**Fuente:** Sistema de Interrucciones (SI) – Dpto. Ingeniería Industrial (INDU–SIDOR)-Acería de Palanquillas



---

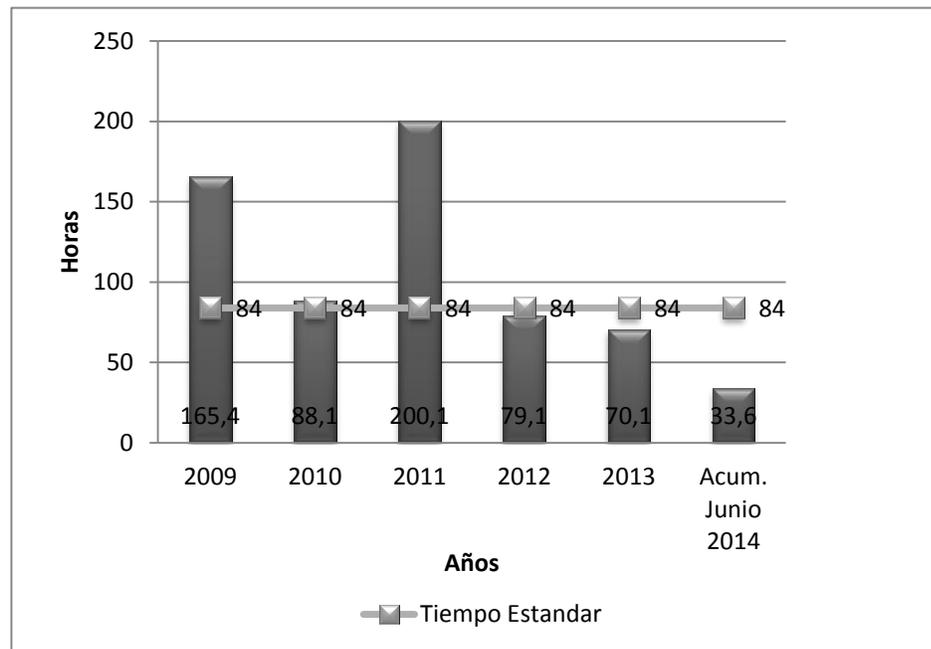
Ahora bien en el Gráfico 6.1 se observa un diagrama de Pareto de las interrupciones mencionadas que inciden en el tiempo neto (o productivo) del Horno Fusión, denotando que el 20% de las Interrupciones que abarcan un 80% del tiempo estudiado (las más impactantes) son: “Limpieza de EBT, Cambio de Electrodo, Revisión de Cuba, Cargando Cesta, EBT no destapa, Bajando Carbono, Reacción en Hornos, Regresando Acero, Alargue de Electrodo, Interrupción Tecnológica Sangría y Falta de Personal”, y es por esto que han de ser los principales eventos donde se deben enfocar esfuerzos en disminuir o mejorar el tiempo de ejecución.

#### **6.2.2.2. Impacto en el tiempo de las Interrupciones de Reparación en Caliente**

El comportamiento de los tiempos de ejecución de las interrupciones Reparación en Caliente, se puede observar en el gráfico 6.2



**Gráfico 6.2:** Impacto de las Interrupciones Reparación en Caliente (hr/año)



**Fuente:** Sistema de Interrupciones (SI) – Dpto. Ingeniería Industrial (INDU–SIDOR)-  
Acería de Palanquillas

En el gráfico del Impacto de las interrupciones de Reparación en Caliente se observa la variación que ha existido en los años de estudio entre el tiempo establecido (planificado) para realizar las reparaciones en caliente y el tiempo que en realidad se han efectuado dichas reparaciones. Como se puede observar en el gráfico mencionado en el año 2009 la variación del tiempo fue 81,4 horas, es decir, casi se duplica el tiempo que se estableció en la planificación de la empresa, mejor dicho se invirtió parte de un tiempo que probablemente estaba planificado para producción u otras actividades del horno. En el año 2010 la variación de los tiempos (real y estándar) fue de 4,1 horas, no fue tan pronunciada la diferencia como en el año anterior pero se perdieron 4,1 horas de producción del horno, es decir, alrededor de 5 coladas al año. El año 2011 muestra la cifra más significativa en la variación del tiempo



---

establecido con el real, se observa que se invirtieron 116,1 horas de la producción en las reparaciones en caliente, lo que implica una pérdida en la producción de acero líquido. En el 2012 y 2013 los límites de tiempo establecidos para las Reparaciones en Caliente se mantuvieron por encima del tiempo real esperado, lo que indica que existieron mejoras en algunos ámbitos que afectan dichas voces (la preparación del personal, mejor calidad de material de fundición, etc.) o que hubo una baja producción en ambos años. Lo que puede observarse del tiempo acumulado hasta Junio de 2014 es que si se sigue el mismo ritmo de trabajo que se ha ido efectuando en el primer semestre del año, el tiempo real de trabajo será inferior al tiempo establecido para realizar la Reparaciones en Caliente, por lo que existirá una tendencia en el tiempo e influirá a la disminución del tiempo establecido para las Reparaciones en Caliente.

### **6.2.2.3 Impacto en el tiempo de las Interrupciones de Servicios de Acería**

El comportamiento de los tiempos de ejecución de las actividades que conforman las interrupciones de Servicios de Acería, se puede observar en la tabla 6.4



**Tabla 6.4:** Impacto de las actividades Servicios de Acería (hr/año)

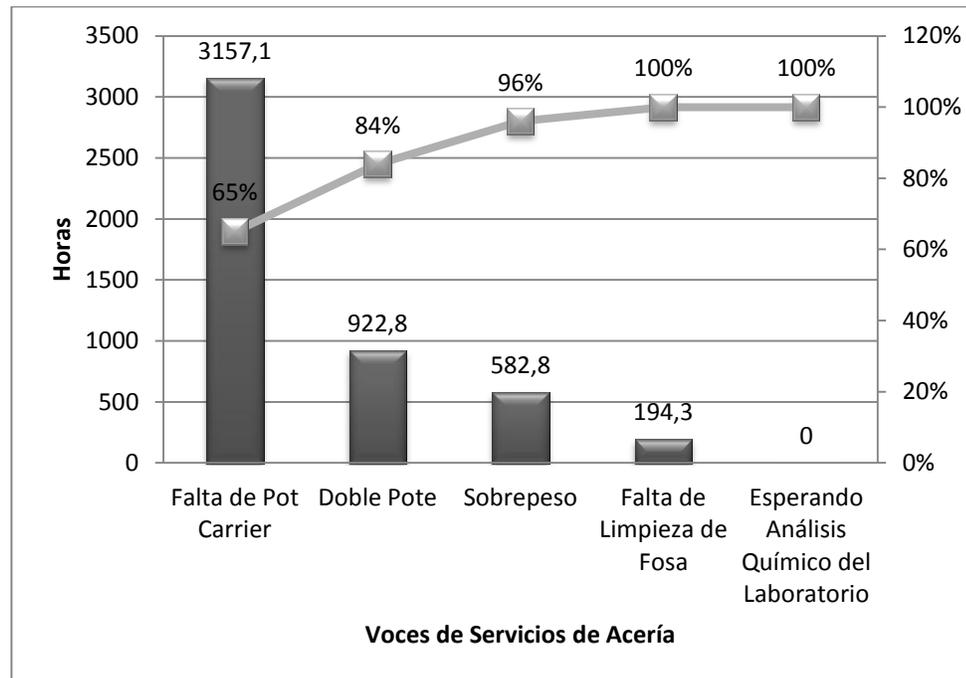
Descripción del Evento	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Falta de Cambio de Pote por Falta de Pot Carrier	80,2	35,9	1332,5	1338,3	326,7	43,5	3157,1	65%	65%
Falta de Cambio de Pote por Doble Pote	23,4	10,5	389,5	391,2	95,5	12,7	922,8	19%	84%
Falta de Cambio de Pote por Sobre peso	14,8	6,6	246	247,1	60,3	8	582,8	12%	96%
Falta de Limpieza de Fosa	4,9	2,2	82	82,4	20,1	2,7	194,3	4%	100%
<b>Total general</b>	<b>123,3</b>	<b>55,2</b>	<b>2050</b>	<b>2059</b>	<b>502,6</b>	<b>66,9</b>	<b>4857</b>	<b>100%</b>	

**Fuente:** Sistema de Interrupciones (SI) – Dpto. Ingeniería Industrial (INDU–SIDOR)-  
Acería de Palanquillas

Seguidamente se presenta un diagrama de Pareto basado en los datos mostrados en la tabla anterior en el cual se expone el comportamiento de las Interrupciones Operativas llamadas “Servicios de Acería”, que inciden en el funcionamiento normal de la Acería de Palanquillas durante los años 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 y el acumulado a Junio 2014. Ver gráfico 6.3



**Gráfico 6.3:** Impacto de las actividades Servicios de Acería



**Fuente:** Sistema de Interrupciones (SI) – Dpto. Ingeniería Industrial (INDU–SIDOR)-Acería de Palanquillas

Seguidamente se observa un diagrama de Pareto en el gráfico 6.3 de las interrupciones de Servicios de Acería, en este se observa que el 80% del tiempo total de estas interrupciones fue a causa de los eventos: “Falta de Cambio de Pote por Falta de Pot Carrier y Falta de Cambio de Pote por Doble Pote”, es decir que estas son las actividades que más impactan en la producción por parte de los Servicios de Acería.



---

### **6.2.3 Toneladas de acero líquido no producido por las Interrupciones Operativas**

Las interrupciones como bien se conoce van a entorpecer el ritmo normal de cualquier trabajo. En el caso de las Interrupciones Operativas a pesar de ser necesarias para un funcionamiento eficiente de la planta, de igual manera van a repercutir en el producto final de este proceso productivo.

Cada detención que se haga en un sistema continuo disminuirá la producción final de este sistema, y no es de escaparse el proceso productivo de la Acería de Palanquillas de SIDOR, C.A. Por esto se hace necesario conocer y mostrar todas las pérdidas en producto terminado ocurridas en el período de tiempo de estudio.

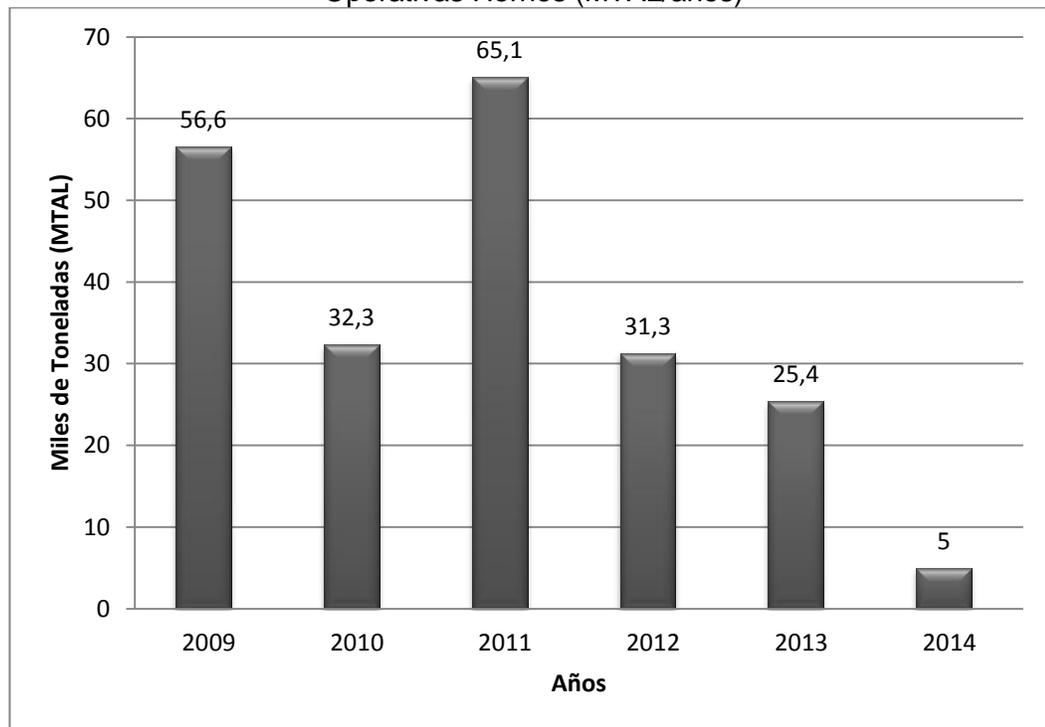
#### **6.2.3.1 Toneladas no producidas a causa de las interrupciones Otras Operativas Hornos**

A continuación se muestra la cantidad de Miles Toneladas de Acero Líquido (MTAL) no producidos a causa de las interrupciones de Otras Operativas Hornos desde el año 2009 hasta Junio de 2014. Datos que fueron tomados de la base interna de datos del área de producción de Palanquillas de SIDOR (intranet). Los datos serán mostrados por años en el gráfico 6.4

Es de resaltar que el precio de la tonelada de acero líquido en el mercado es alrededor de \$340/ton.



**Gráfico 6.4:** Toneladas de Acero Líquido No Producido por Las Interrupciones Otras Operativas Hornos (MTAL/años)



**Fuente:** Intranet SIDOR

En este gráfico se puede observar que durante el año 2009 se sufrió una pérdida de producción de 56.600 Toneladas de Acero Líquido, lo que en Acero Sólido (Palanquillas) equivalen a 28677 unidades, restandole aproximadamente una venta de \$1924400. También se observa que durante el año 2010 la cantidad no producida descendió a 32300 Toneladas (-\$10982000 en ventas). En el transcurso del año 2011 la baja producción se hace visible según el gráfico mostrado, ya que arroja una cantidad de 65100 Toneladas de Acero Líquido, lo que al ser observado vendría siendo la cantidad no producida más elevada de este estudio según estas interrupciones, esto vendría significando una cantidad de 32984 Palanquillas, y una pérdida en la producción de \$22134000. En año 2012 los índices descendieron a 31300 Toneladas de producto, siendo esto 15859 unidades de Palanquillas no producidas. Durante el 2013 el índice descendió nuevamente llegando a la cantidad de 25400

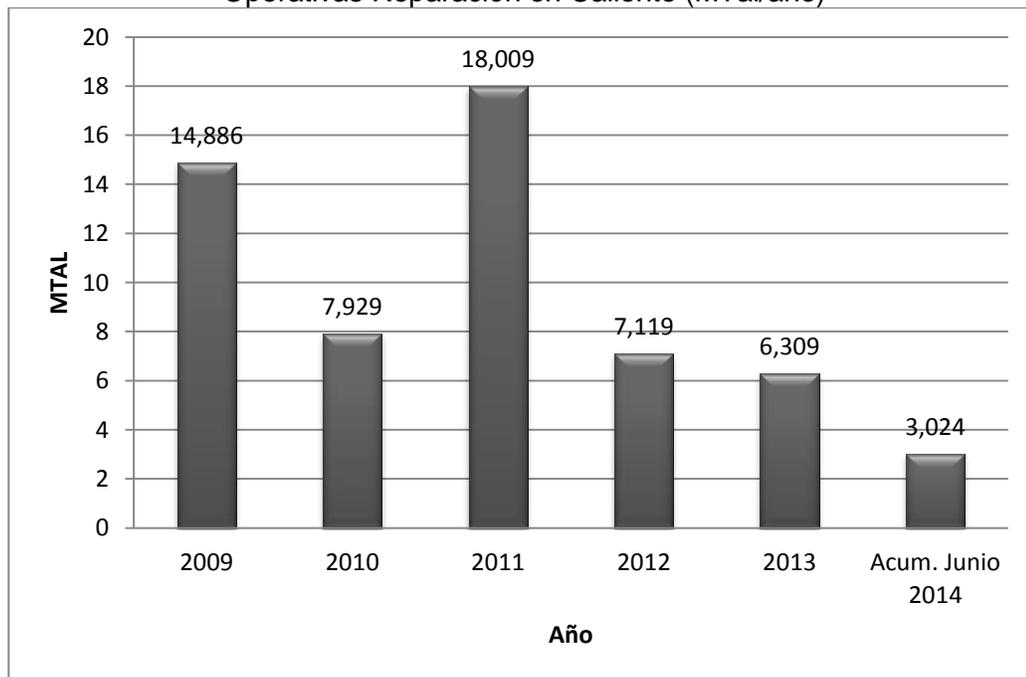


Toneladas de Acero Líquido. Ahora, durante el acumulado de los meses de Enero hasta Junio del presente año (2014) el índice lleva un valor de 5000 Toneladas no producidas de Acero Líquido, siendo esto en números de palanquillas 2533, una cantidad no tan impactante cómo las anteriormente mostradas, pero que debe ser atendida para evitar aumentos en la tendencia de la no producción.

### 6.2.3.2 Toneladas no producidas a causa de las interrupciones Reparación en Caliente

Seguidamente se presenta la cantidad de miles toneladas de acero líquido no producidos a razón de las interrupciones de Reparación en Caliente desde el año 2009 hasta Junio de 2014. Ver gráfico 6.5

**Gráfico 6.5:** Toneladas de Acero Líquido No Producido por Las Interrupciones Operativas Reparación en Caliente (MTal/año)



**Fuente:** intranet SIDOR



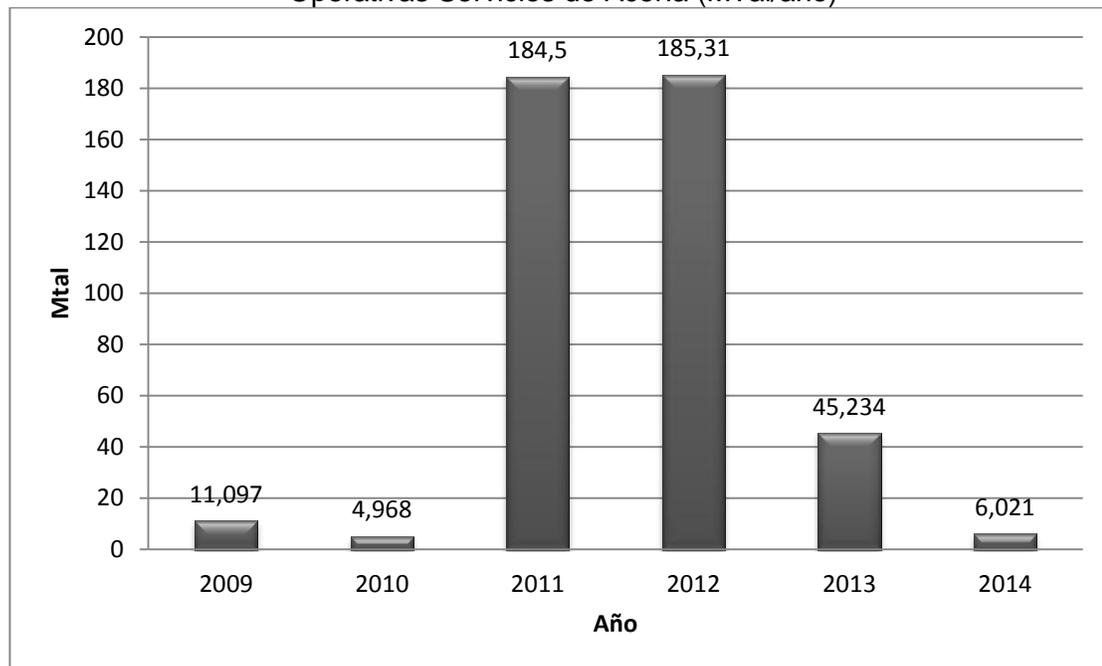
En este gráfico se muestra las Toneladas de Acero Líquido no producido a causa de las Interrupciones de Reparación en Caliente. Se observa que durante el año 2009 se dejó de producir 14889 Tonelas a razón de estas interrupciones, lo que equivalen a una cantidad de alrededor de 7544 palanquillas no producidas durante ese año, lo que equivaldría a \$5060560 en perdidas de producción. A su vez en el año 2010 se nota un descenso en la no producción con un equivalente igual a 7929 toneladas de acero líquido no producido, traduciendo en 4017 unidades de palanquillas no producidas, y una perdida de producción de \$2685960. Si se observa lo ocurrido durante el año 2011 el incremento es notable, las toneladas no producidas ese año fueron de 18009, lo que sería igual a 9125 palanquillas no producidas en lo que fue ese año con una perdida de producción de \$6123060. Ahora observando 2012 y 2013 puede apreciarse un descenso en cada año, con valores de 7119 toneladas y 6309 tonelas reapectivamente, lo que en palanquillas serían 3607 y 3197 unidades respectivamente, esto podría representar una tendencia que indique el aumento en la producción. Por su parte el acumulado de Junio de 2014 lleva un total de 3024 toneladas de acero líquido no producido, lo que crea una alerta de necesidad de mejorar la producción.

### **6.2.3.3 Toneladas no producidas a causa de las interrupciones Servicios de Acería**

A continuación se muestra la cantidad de toneladas de acero líquido no producidos a causa de las interrupciones de Servicios de Acería desde el año 2009 hasta Junio de 2014. Ver gráfico 6.6



**Gráfico 6.6:** Toneladas de Acero Líquido No Producido por Las Interrupciones Operativas Servicios de Acería (MTal/año)



**Fuente:** Intranet SIDOR

Haciendo una revisión del gráfico de las Toneladas de Acero Líquido no producido a razón de las Interrupciones de Servicios de Acería, se puede observar una variación discrepante en los valores arrojados anualmente. Durante el año 2009 el valor en toneladas de acero líquido fue de 11097, traduciendoce a 5622 unidades de palanquillas y así mismo en perdidas de un valor estimado de \$3772980. A su vez el valor de la no producción desciende durante el año 2010 a 4968 toneladas, lo que en palanquillas serían 2517 unidades, casi la mitad menos que el año anterior. Durante el 2011 y 2012 los valores son similares siendo 184500 y 185310 toneladas respectivamente, estos valores son los más altos arrojados por este gráfico mostrando una perdida en números de palanquillas de 93480 durante el 2011 y una cantidad de 93890 palanquillas durante el 2012, lo que en valor e mercado se traduciría en \$62730000, \$63005400, y \$31922600 respectivamenete. Por su parte las toneladas no producidas durante el año 2013 descienden a 45234, esto



---

hablando en unidades de palanquillas se traduciría a 22919 palanquillas, es un resultado menor que los dos años anteriores pero de gran repercusión en la producción de SIDOR. Mientras tanto durante el acumulado del año 2014 las toneladas no producidas fueron 6021 toneladas de acero líquido, es decir, 3051

### **6.3 Elaboración de un algoritmo matemático que apunte a la optimización de los tiempos de respuesta ante las Interrupciones Operativas del proceso.**

Para evaluar los tiempos de las Interrupciones Operativas, se implementará el estudio de *Teoría de Colas* con el software *DS for Windows 2.0*, con la finalidad de optimizar los tiempos de operación de cada evento.

A continuación muestra del procedimiento a realizar en cada uno de los análisis:

1. Ubicar el logo del software *DS for Windows* en la pantalla principal del ordenador.
2. En la barra de tareas del programa, seleccionar la opción "*Module*".
3. Luego elegir entre las opciones que se desglosen, la de línea de espera que dirá "*Waiting Lines*".
4. Seguidamente, dirigirse a la barra de tareas y seleccionar la opción de un nuevo archivo, eligiendo primero "*File*" y luego de las opciones desglosadas de este, elegir "*New*".
5. Al seleccionar el nuevo archivo, aparecerá una ventana donde se pedirá introducir el nombre del archivo como "*Title*".



6. Luego de asignarle el nombre al archivo, en la barra de tareas dirigirse a “*Time unit*”, donde se elegirá trabajar con la unidad de tiempo a conveniencia.
7. Se insertarán los datos de tasa de llegada (*Arrival Rate*), tasa de servicio (*Service Rate*), y el número de servidores (*Number of Servers*).
8. Finalmente, se consigue la solución del problema pulsando en la barra de tareas la opción “*Solve*”.

### **6.3.1 Análisis de las actividades Otras Operativas Hornos con el software DS for Windows 2.0**

A continuación se expondrá el análisis de cada evento de Otras Operativas Hornos:

#### **6.3.1.1 Análisis de Alargue de Electrodo**

Se procede hacer el uso del software DS for Windows.

- **Escenario 1:** Operador con poca experiencia
- Ejemplo del cálculo de la tasa de llegada y de la tasa de servicio:

**Tasa de llegada ( $\lambda$ )** → “probabilidad de ocurrencia de un acontecimiento en un intervalo de tiempo determinado”

Se realiza el alargue de un (1) electrodo cada 8 horas

$$\frac{8h * 60min}{1h} = 480min$$

Si un electrodo es alargado cada *480 min*, tendríamos que:



$$\frac{1\text{min} * 1\text{Electrodo}}{480\text{min}} = 0,002 \text{Elect}/\text{min}$$

Esto en resumen sería...  $\lambda = 0,002 \text{Elect}/\text{min}$

**Tasa de servicio ( $\mu$ )** → “unidades que pueden ser atendidas por un servidor en un periodo de tiempo”

Unidad: Electrodo

Servidor: Grúa

La grúa emplea un tiempo de alrededor 8,5 min en realizar el alargue de un electrodo.

En resumen...  $\mu = 11,5 \text{ min}$

Resultados de la simulación:

**Figura 6.2:** Resultados de la simulación 1 de Alargue de Electrodo

Alargue de Electrodo					
Parameter	Value	Parameter	Value	Seconds	Seconds * 60
M/M/1 (exponential service)		Average server utilization	0,0002		
Arrival rate(lambda)	0,002	Average number in the queue(Lq)	0,		
Service rate(mu)	11,5	Average number in the system(Ls)	0,0002		
Number of servers	1,	Average time in the queue(Wq)	0,	0,0009	0,0545
		Average time in the system(Ws)	0,087	5,2183	313,0979

**Fuente:** Software DS for Windows

En la figura 6.2 se muestran los resultados arrojados por la simulación de la actividad Alargue de Electrodo donde se puede observar que la Utilización Promedio del servidor (*Average server utilization*), que en este caso es la grúa puente, es de 0.0002%, y existe un promedio de cero (0) unidades en cola.

Este resultado es obtenido de los datos de la situación actual, es decir, los tiempos de duración actuales que se emplean para la realización de esta labor. Y a su vez son los tiempos de un servidor no experimentado (nuevo gruario).



→ **Escenario 2:** Operadores de grúas entrenados y/o experimentados

$$\text{Tasa de llegada } (\lambda) = 0.002^{Elect}/_{min}$$

$$\text{Tasa de servicio } (\mu) = 7.5min$$

**Figura 6.3:** Resultados de la simulación 2 de Alargue de Electrodo

Parameter	Value	Parameter	Value	Seconds	Seconds * 60
M/M/1 (exponential service)		Average server utilization	0,0003		
Arrival rate(lambda)	0,002	Average number in the queue(Lq)	0,		
Service rate(mu)	7,5	Average number in the system(Ls)	0,0003		
Number of servers	1,	Average time in the queue(Wq)	0,	0,0021	0,128
		Average time in the system(Ws)	0,1334	8,0021	480,128

**Fuente:** Software DS for Windows

En la figura 6.3 se muestran un resultado en la utilización promedio del servidor mayor que en la figura anterior, esto es debido a que el servidor está trabajando en menor tiempo, ya que es un servidor más experimentado que en el evaluado en el escenario 1. En vista de esto surge una propuesta:

**Propuesta 1:** Entrenar a nuevos operadores de grúas

La propuesta de entrenar nuevos operadores de grúas surgió en base al análisis visual y estudio de tiempo del trabajo, tomando en cuenta la experiencia del operador de grúa. Los operadores actuales de las grúas del Área de Palanquillas son operadores con años de experiencia, es por esto que actualmente no se presentan atrasos en esta actividad operativa, pero es de destacar que estos operadores serán próximos a jubilarse por lo que nuevos operadores vendrán al manejo de esta actividad, por lo tanto se propone iniciar desde ya un plan de entrenamiento de operadores de grúa, particularmente en la actividad “pesca del electrodo” ya que es la que presenta demoras durante el



proceso, y este entrenamiento no solo beneficiará esta actividad sino también muchas otras dentro de la Acería de Palanquillas, entre ellas “Cambio de Electrodo”.

**Tabla 6.5:** Cuadro comparativo Propuesta 1

<b>Procedimiento operativo: <i>Alargue de Electrodo</i></b>				<b>Propuesta 1 (min)</b>
<b>Símbolo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo (min)</b>	
	Inspección	1	0,50	0,50
	Operación	9	11,55	8,55
	Demora	1	2,50	2,50
	Actividad Combinada	1	2	2
	Repetición	1	-	-
	Entrada	1	-	-
	Decisión	1	-	-

En la tabla 6.5 se presenta la situación actual en contraste con la propuesta planteada y se observa que el tiempo de operaciones se reduce en 3 minutos aproximadamente.



### 6.3.1.2 Análisis de Cambio de Electrodo

Siguiendo los pasos del ejemplo mostrado anteriormente se obtuvieron estos datos:

Se realiza un cambio de electrodo cada 16 horas.

Tasa de llegada  $\rightarrow \lambda = 0,001 \text{ Elect}/\text{min}$

Tasa de servicio  $\rightarrow \mu = 17,5 \text{ min}$

En el procedimiento actual de cambio de electrodos el servidor (grúa) es uno solo, esta simulación se realizará con el método M/M/s para analizar los resultados si se incrementa el número de servidores.

Resultados de la simulación:

**→ Escenario 1:** Un (1) servidor “Operador de Grúa” (M/M/1)

**Figura 6.4:** Resultados de la simulación 1 de Cambio de Electrodo

Cambio de Electrodo					
Parameter	Value	Parameter	Value	Seconds	Seconds * 60
M/M/s		Average server utilization	0,0001		
Arrival rate(lambda)	0,001	Average number in the queue(Lq)	0,		
Service rate(mu)	17,5	Average number in the system(Ls)	0,0001		
Number of servers	1,	Average time in the queue(Wq)	0,	0,0002	0,0118
		Average time in the system(Ws)	0,0571	3,4288	205,728

**Fuente:** Software DS for Windows

En la figura 6.4 se muestran los resultados del escenario 1 del estudio de Cambio de Electrodo, en esta el promedio de utilización del servidor es de 0,0001, y la línea de espera presenta 0 clientes.



→ **Escenario 2:** Con dos (2) servidores “Grúas” (M/M/2) entrenados y/o experimentados

**Figura 6.5:** Resultado de la simulación 2 de Cambio de Electroodos

Cambio de Electroodos					
Parameter	Value	Parameter	Value	Seconds	Seconds * 60
M/M/s		Average server utilization	0,		
Arrival rate(lambda)	0,001	Average number in the queue(Lq)	0,		
Service rate(mu)	13,5	Average number in the system(Ls)	0,0001		
Number of servers	2,	Average time in the queue(Wq)	0,	0,	0,
		Average time in the system(Ws)	0,0741	4,4444	266,6667

**Fuente:** Software DS for Windows

Ahora en la figura 6.5 se muestran los resultados del escenario 2 del Cambio de electrodos, en este escenario se trabajó con los tiempos de servicio de un servidor experimentado y a su vez con dos servidores que realizaran actividades simultáneas. El el resultado se observa que el promedio de utilización del servidor es cero (0) y en la línea de espera no e observa ningún cliente (electrodo). Ahora bien surge la propuesta 2:

**Propuesta 2:** Asignación de otra grúa al sistema

Asignando otra grúa al sistema se pueden realizar las actividades “Pesca de electrodo” y “traslado del electrodo (viejo) al banco de electrodos” con la grúa que llamaremos “a”, mientras que la grúa “b” la que será añadida como nueva en el sistema de cambio de electrodos podrá realizar las actividades “Pesca del electrodo en el banco de electrodos” e “Inserción del electrodo en el horno”. Esto quiere decir que los traslados de la grúa “a” presentes en la situación actual se eliminarán debido a que la grúa “b” ya tendrá preparado el electrodo para ser insertado en el horno cuando la primera realice la extracción del electrodo nuevo, es decir, se eliminarán tiempos muertos.

Al mismo tiempo en la optimización de esta actividad se implementará la “Propuesta 1” ya explicada en el caso anterior.



**Tabla 6.6:** Cuadro Comparativo Propuesta 2

Procedimiento operativo: <i>Cambio de Electrodo</i>				Propuesta 2 (min)
Símbolo	Actividad	Cantidad	Tiempo (min)	
□	Inspección	1	0,50	0,50
○	Operación	10	17,55	14,55
D	Demora	1	2,50	2,50
◻	Actividad Combinada	1	2,50	2,50
⇒	Transporte	2	3,80	-
▽	Almacén	1	-	-
→	Entrada	1	-	-
↘	Salida	1	-	-
◇	Decisión	1	-	-

**Fuente:** Autora

En la tabla 6.6, se hace comparación entre la situación actual y la propuesta que se presenta, existiendo una reducción de tiempos en las operaciones del cambio de electrodo, y a su vez la eliminación de los tiempos de transporte.

### 6.3.1.3 Análisis de Limpieza del EBT

Tomando en consideración el ejemplo expuesto en el análisis de Alargue de electrodo, los datos para este análisis son los siguientes:



Se realiza la limpieza del EBT en cada fin de colada.

Tasa de llegada  $\rightarrow \lambda = 0,02 \text{ Limp}/\text{min}$

Tasa de servicio  $\rightarrow \mu = 3,5 \text{ min}$

Resultados de la simulación:

**Figura 6.6:** Resultado de la simulación de Limpieza del EBT

Limpieza del EBT					
Parameter	Value	Parameter	Value	Seconds	Seconds * 60
M/M/1 (exponential service)		Average server utilization	0,0057		
Arrival rate(lambda)	0,02	Average number in the queue(Lq)	0,		
Service rate(mu)	3,5	Average number in the system(Ls)	0,0057		
Number of servers	1,	Average time in the queue(Wq)	0,0016	0,0985	5,9113
		Average time in the system(Ws)	0,2874	17,2414	1.034,483

**Fuente:** Software DS for Windows

La figura 6.6 muestra el resultado de la simulación del evento “Limpieza de EBT”, arrojando un promedio de utilización del servidor de 0,0057 y un número en colas de cero (0). Bien. El número en cola es igual a cero debido a que es una actividad que se realiza una sola vez por colada (al final de la colada) por lo que no existirá cola en esta actividad.

La manera de realizar esta actividad es avanzada, no se realizan trabajos manuales ya que es por sistema que se hace la limpieza del EBT, el operario solo debe ser avisado cuando el acero haya terminado de pasar para poder iniciar la limpieza (abrir y cerrar la tapa del EBT). Es de destacar que esta actividad fue evaluada con anterioridad, y se intentó implementar un sistema de alarma para saber cuándo el acero terminaba de pasar y comenzaba la escoria, este no funcionó y la colada entraba escoria por lo que se eliminó su uso.



### 6.3.1.4 Análisis de Destape del EBT

Actualmente ocurre el evento donde el EBT no destapa cada ocho (8) horas.

→ **Escenario 1:** Situación actual (M/M/1)

Tasa de llegada →  $\lambda = 0,002 \text{ Dest}/\text{min}$

Tasa de servicio →  $\mu = 10 \text{ min}$

Resultados de la simulación:

**Figura 6.7:** Resultado de la simulación de Destape del EBT

Destape del EBT					
Parameter	Value	Parameter	Value	Seconds	Seconds * 60
M/M/1 (exponential service)		Average server utilization	0,0002		
Arrival rate(lambda)	0,002	Average number in the queue(Lq)	0,		
Service rate(mu)	10,	Average number in the system(Ls)	0,0002		
Number of servers	1,	Average time in the queue(Wq)	0,	0,0012	0,072
		Average time in the system(Ws)	0,1	6,0012	360,072

**Fuente:** Software DS for Windows

En la figura 6.7 se puede observar que los resultados de la simulación del evento “Destape de EBT” son un promedio de utilización del servidor de 0,002 y no hay clientes en cola. Este caso es parecido al de “Limpieza del EBT” sucede una sola vez durante una colada por lo que no existe manera de haber colas en el sistema. Para optimizar esta actividad se realizaron las siguientes propuestas:

**Propuesta 3:** Estudiar la calidad del material refractario de sellado utilizado para cerrar el EBT



---

En cada final de colada es necesario cerrar el agujero de colada por el fondo (*EBT*), esto no solo se realiza con la tapa del mismo (gaveta) sino que también resulta necesario agregar un material refractario que sea lo suficientemente resistente para que la temperatura y los componentes del acero líquido en fundición no penetren la superficie de la gaveta. Este material es el que se debe limpiar cada fin de colada (conocido como *Limpieza del EBT*) y que en caso de no ser de buena calidad se solidificará de tal manera que será necesario el “*Destape del EBT*” que dependiendo de cada caso puede extenderse durante 10min o más.

Con la implementación de un material refractario de buena calidad, la solidificación de este no llegará al punto de tapan el EBT después de una colada.

#### **6.3.1.5 Análisis de Reparación de Bancos**

Este evento ocurre cada 45 coladas.

→ **Escenario 1:** Situación actual

**Tasa de llegada** →  $\lambda = 0,0005 \text{ Rep}/\text{min}$

**Tasa de servicio** →  $\mu = 20 \text{ min}$

Resultados de la simulación:



**Figura 6.8:** Resultado de la simulación de Reparación de Bancos

Reparación de Bancos					
Parameter	Value	Parameter	Value	Minutes	Seconds
M/M/1 (exponential service)		Average server utilization	0,		
Arrival rate(lambda)	0,0005	Average number in the queue(Lq)	0,		
Service rate(mu)	20,	Average number in the system(Ls)	0,		
Number of servers	1,	Average time in the queue(Wq)	0,	0,0001	0,0045
		Average time in the system(Ws)	0,05	3,0001	180,0045

**Fuente:** Software DS for Windows

En la figura 6.8 se muestran los resultados de las simulación de *Reparación de Bancos* donde se observa que el promedio utilización del servidor es cero (0) debido a que es una actividad realizada ocasionalmente, y por la misma razón el promedio en línea de espera es cero (0).

➔ **Escenario 2:** Operadores entrenados

**Figura 6.9:** Resultado de la simulación 2 de Reparación de Bancos

Reparación de Bancos Solution					
Parameter	Value	Parameter	Value	Seconds	Seconds * 60
M/M/1 (exponential service)		Average server utilization	0,		
Arrival rate(lambda)	0,0005	Average number in the queue(Lq)	0,		
Service rate(mu)	15,	Average number in the system(Ls)	0,		
Number of servers	1,	Average time in the queue(Wq)	0,	0,0001	0,008
		Average time in the system(Ws)	0,0667	4,0001	240,008

**Fuente:** Software DS for Windows

En la figura 6.9 se puede observar que al igual que en el escenario 1, los promedios de utilización y líneas de espera son igual a cero (0) debido a la naturaleza esporádica de dicha actividad. Pero es de mencionar que en este caso se ha reducido el tiempo de servicio en 5 minutos, debido a la utilización de operadores de grúas con experiencia.



Para la optimización de esta actividad se implementará la Propuesta 1: *Entrenar a nuevos operadores de grúas*, ya que es una actividad realizada en su mayor parte por operadores de grúa por lo que se hace necesario que estos sean diestros en su trabajo para así tener una mejor utilización del tiempo.

### 6.3.1.6 Análisis de Revisión de Cuba

La inspección visual de la cuba sucede en cada inicio de colada

Tasa de llegada  $\rightarrow \lambda = 0,02 \text{ Rev}/\text{min}$

Tasa de servicio  $\rightarrow \mu = 2 \text{ min}$

Resultados de la simulación:

**Figura 6.10:** Resultado de la simulación de Revisión de Cuba

Revisión de Cuba					
Parameter	Value	Parameter	Value	Seconds	Seconds * 60
M/M/1 (exponential service)		Average server utilization	0,01		
Arrival rate(lambda)	0,02	Average number in the queue(Lq)	0,0001		
Service rate(mu)	2,	Average number in the system(Ls)	0,0101		
Number of servers	1,	Average time in the queue(Wq)	0,0051	0,303	18,1818
		Average time in the system(Ws)	0,5051	30,303	1.818,182

**Fuente:** Software DS for Windows

En el gráfico 6.10 se observa un promedio de utilización del servidor de 0.01 y un promedio de números en línea de espera de 0.0001, índices bajos que indican que la actividad se realiza a un solo cliente (sin posibilidad de cola) y por un solo servidor.

**Propuesta 4:** Capacitación de la masa laboral para el reconocimiento del estado óptimo de las paredes y piso (solera) del horno necesario para una colada segura



La *Revisión de Cuba* se realiza colada tras colada. Siempre antes de iniciar una nueva colada el operario se acerca a la puerta del horno y por medio de la inspección visual se asegura del correcto estado de las paredes y piso del horno. Esta actividad se podría mejorar teniendo un personal ya familiarizado con el horno y su estructura, ya que sabrá reconocer el estado necesario que deben tener las partes del mismo para una colada segura. A su vez, es importante ir capacitando a la fuerza laboral de cada turno que trabaje en la cabina central del horno con respecto al cómo deben estar y verse las paredes y piso del horno antes de cada colada, por razones de seguridad.

### 6.3.1.7 Análisis de Bajando Carbono

Este evento se presenta como promedio 250 veces por año.

Tasa de llegada  $\rightarrow \lambda = 0,0005 \text{ BC}/\text{min}$

Tasa de servicio  $\rightarrow \mu = 16 \text{ min}$

Resultados de la simulación:

**Figura 6.11:** Resultado de la simulación de Bajando Carbono

Bajando Carbono					
Parameter	Value	Parameter	Value	Seconds	Seconds * 60
M/M/1 (exponential service)		Average server utilization	0,		
Arrival rate(lambda)	0,0005	Average number in the queue(Lq)	0,		
Service rate(mu)	16,	Average number in the system(Ls)	0,		
Number of servers	1,	Average time in the queue(Wq)	0,	0,0001	0,007
		Average time in the system(Ws)	0,0625	3,7501	225,007

**Fuente:** Software DS for Windows

En el gráfico 5.11 de la simulación de *Bajando Carbono* los resultados de la utilización promedio de un servidor es igual a cero (0) al igual que la cantidad de clientes en líneas de espera (0), estos resultados reflejan que la ocurrencia



este evento es baja por lo que el trabajo del servidor sobre esta actividad se dará en momentos ocasionales.

**Propuesta 5:** Petición de estudio químico al enviar el *HRD*

Durante el evento *Bajando Carbono*, el carbono que entra al proceso de fusión del acero viene en el HRD en forma de pellas enviados desde el “Área de Materia Prima” de SIDOR, por lo que se propone pedir un estudio químico donde se muestre la composición y contenido de cada componente (en especial el carbono) del HRD a dicha área al momento del envío. Esto permitirá al jefe del horno calcular cuánto oxígeno se necesita inyectar en la siguiente colada y lo más resaltante es que se evitará la demora por espera del análisis químico del acero en fusión, no se detendrá la colada.

**Tabla 6.7:** Cuadro comparativo Propuesta 5

Procedimiento operativo: <i>Bajando Carbono</i>				Propuesta 5 (min)
Símbolo	Actividad	Cantidad	Tiempo (min)	
□	Inspección	3	1,50	1,50
○	Operación	3	12	12
D	Demora	1	6	-
→	Entrada	1	-	-
→ ↓	Salida	1	-	-

**Fuente:** Autora



En la tabla 6.7, se observa que con la implementación de la propuesta dada sucede la eliminación de los tiempos de demora que se presentan en la situación actual por la espera de análisis del laboratorio.

### 6.3.1.8 Análisis del Parchado

El Parchado se realiza cada 8 horas si el horno lleva alrededor de 50-60 coladas, dos o tres veces cada 8 horas si el horno ha realizado de 80-120 coladas, y una vez cada colada cuando el horno lleva más de 120 coladas.

**Tasa de llegada  $\rightarrow \lambda = 0,001 \text{ Parch}/\text{min}$**

**Tasa de servicio  $\rightarrow \mu = 29,5 \text{ min}$**

Resultados de la simulación:

**→ Escenario 1: Situación actual**

**Figura 6.12:** Resultado de la simulación 1 del Parchado

Parameter	Value	Parameter	Value	Seconds	Seconds * 60	Parchado
M/M/1 (exponential service)		Average server utilization	0,			
Arrival rate(lambda)	0,001	Average number in the queue(Lq)	0,			
Service rate(mu)	29,5	Average number in the system(Ls)	0,			
Number of servers	1,	Average time in the queue(Wq)	0,	0,0001	0,0041	
		Average time in the system(Ws)	0,0339	2,034	122,038	

**Fuente:** Software DS for Windows

Los resultados arrojados por el software DS for Windows mostrados en la figura 6.12 señalan un promedio de utilización del operario de cero (0) esto es debido a la ocurrencia esporádica con se presenta este evento, al igual que no presentará colas. A su vez como es un trabajo netamente manual existen observaciones que van más allá del cálculo matemático, como lo son los



traslados, las cargas de material pesado y el tiempo de exposición a altas temperaturas por parte del operario.

→ **Escenario 2:** Mejora del traslado del soporte de la lanza de oxígeno

**Tasa de llegada** →  $\lambda = 0,001 \text{ Parch}/\text{min}$

**Tasa de servicio** →  $\mu = 24,5 \text{ min}$

**Figura 6.13:** Resultado de la simulación 2 del Parchado

Waiting Lines Results					
Parameter	Value	Parameter	Value	Parchado	
				Seconds	Seconds * 60
M/M/1 (exponential service)		Average server utilization	0,		
Arrival rate(lambda)	0,001	Average number in the queue(Lq)	0,		
Service rate(mu)	24,5	Average number in the system(Ls)	0,		
Number of servers	1,	Average time in the queue(Wq)	0,	0,0001	0,006
		Average time in the system(Ws)	0,0408	2,4491	146,9448

**Fuente:** Software DS for Windows

Ahora en la figura 6.13 se muestran los resultados de la simulación del *Parchado* si se mejora el traslado del soporte de la lanza de oxígeno. En este resultado numericamente no se nota gran diferencia con el escenario 1, ya que la utilización del servidor es igual a cero y la línea de espera no existe. Lo que es válido como cambio para optimizar es la reducción del tiempo de servicio, y es por esto que surge la siguiente propuesta:



**Propuesta 6:** Implementación de ruedas al soporte de la lanza de material refractario

Como se mencionó en el diagrama de flujo del Parchado, el soporte de la lanza de material refractario tiene un peso de alrededor 10kg, este debe ser cargado manualmenete por el operador y debe trasladarlo alrededor de 5m. Con la ayuda de unas ruedas que permitan mover más comodamenete el soporte, el operador evitará el cargar dicho objeto y el traslado se realizará de manera más rápida. Se ha demostrado que el cansancio produce desconcentración en el trabajo, por lo que al tener un trabajador menos agotado la actividad se llevará a cabo de mejor manera y más rápidamenete.

**Tabla 6.8:** Cuadro comparativo Propuesta 6

Procedimiento operativo: <i>Parchado</i>				Propuesta 6 (min)
Símbolo	Actividad	Cantidad	Tiempo (min)	
□	Inspección	2	4	4
○	Operación	5	5,50	5,50
D	Demora	1	10	6
◻	Actividad Combinada	1	10	10
→	Entrada	3	-	-
→↓	Salida	2	-	-

*Fuente:* Autora

En la tabla 6.8, se hace visible la reducción del tiempo actual en las demoras al realizarse esta actividad.



---

**Propuesta 7:** Cambiar el saco de material refractario de manera inmediata

Una de las razones por las que el Parchado se demora es porque el saco de material refractario que es proyectado por la lanza se encuentra vacío al momento de la actividad, por lo que el horno es detenido por alrededor de 5 minutos más del tiempo de duración de la actividad. Teniendo el saco de material refractario lleno antes de iniciar el Parchado eliminará tiempos de parada no necesaria para el horno.

**Propuesta 8:** Asegurar un material refractario de buena calidad

El material refractario adherido a las paredes y piso del horno juega un papel importante dependiendo de su calidad, ya que si es de buena calidad este durará por más tiempo, requiriendo así menos cantidad de reparaciones que en caso de ser de una calidad más baja.

### **6.3.1.9 Análisis de Servicios de Acería**

Las Interrupciones Operativas por Servicios de Acería son:

*Falta de limpieza de Fosa y Cambio de Pote* son los principales eventos que se derivan como se muestran en las figuras anteriores en *Escoria Reactiva* y *Rebose de Pote*, y *Por sobrepeso*, *Falta de Pot Carrier* y *Doble pote*.

Es de mencionar que las primeras demoras ocurren a causa de las altas temperaturas del acero líquido al caer al nivel cero metros de la acería, razón por la cual la limpieza inmediata se imposibilita.

A su vez, las causas de demoras en los eventos de *Cambio de Pote de Escoria* todos son debido a la *Falta de Pot Carrier*, es decir, cuando sucede el



---

evento de un Pote con *Sobrepeso* es necesario el cambio de este pote de escoria por otro, lo que también es conocido como *Doble Pote*, es decir, que ambos eventos representan la misma situación solo que han sido llamados de formas diferentes a través de los años por los operarios de la Acería de Palanquillas. Ahora bien para ambos eventos es necesario la disponibilidad del Pot Carrier ya que es el equipo móvil de material pesado que puede ser utilizado para cargar y trasladar los potes de escoria.

Las acerías de SIDOR (Palanquillas y Planchones) actualmente cuentan con un (1) solo Pot Carrier para las dos. De aquí surge la siguiente propuesta:

**Propuesta 9:** Realizar un estudio mecánico que determine la utilización óptima de un Pot Carrier y la cantidad mínima necesaria para la utilización por acerías en SIDOR.

#### **6.4 Diseño de plan de acción para reducir el impacto en el proceso productivo, de cada Interrupción Operativa.**

Un plan de acción es una serie de medidas que han de ser tomadas para la ejecución y/o mejora de una actividad o conjunto de actividades.

A continuación se presenta una tabla con las acciones resultado del estudio llevado a cabo (ver tabla 6.9)



**Tabla 6.9:** Plan de acción para la disminución del impacto en el proceso productivo del área de Palanquillas de SIDOR, C.A.

<b>Plan de Acción para la disminución de Interrupciones Operativas en Hornos Fusión de la Acería 150 de SIDOR, C.A.</b>					
Realizado por Katusca Quijada					
Interrupciones Operativas	Recursos				Observaciones
	Cantidad	Humano	Cantidad	Material	
Alargue de Electrodo	1	Gruero	1	Grúa	Entrenar previamente al gruero
Cambio de Electrodo	2	Gruero	2	Grúa	Entrenar previamente al gruero
Limpieza de EBT	1	Operador	1	Tapa de EBT	Sellar el EBT con un material refractario de buena calidad
Destape de EBT	1	Operador	1	Lanza	Sellar el EBT con un material refractario de buena calidad
Bajando Carbono	1	Supervisor	3	Entradas de oxígeno (internas)	Exigir el análisis químico del HRD a Materia Prima antes de ser enviado.
Revisión de Cuba	1	Supervisor	n/a	n/a	Entrenar a todo el personal del área para reconocer el óptimo estado visible de las paredes y suelo del horno requerido para iniciar la colada.
Parchado	1	Operador	1	Lanza de	Implementar



---

			1	oxigeno Soporte de lanza	ruedas al soporte de lanza.
Servicios de Acería	n/a	n/a	n/a	<i>Pot Carrier</i>	Realizar un estudio mecánico y de fuerza laboral para determinar la utilización apropiada de los <i>Pot Carrier</i> y, a su vez, la cantidad mínima necesaria de estos transportes por cada acería.

**Fuente:** Autora



---

## CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones que se obtuvieron en base a los objetivos planteados en el proyecto llevado a cabo para la optimización de las interrupciones operativas el horno fusión en la Acería de Palanquillas de SIDOR, CA.

1. Se determinó que durante el proceso de elaboración del acero líquido en los hornos fusión de la Acería de Palanquillas de SIDOR, existen una serie de tareas conocidas como *Interrupciones Operativas* que son actividades que detienen al horno con la finalidad de reparar y/o reajustar la funcionabilidad del mismo, estas actividades deben realizarse para el correcto funcionamiento del proceso de fusión. Se estableció la necesidad de mejorarlas en función al tiempo de duración de cada una, ya que, en algunas existía tiempos muertos perjudiciales para la producción.
2. Se realizó un diagrama de flujo de cada una de las Interrupciones Operativas obteniendo así una estructura clara de la manera actual de realizar las actividades con sus respectivos tiempos.
3. Se encontró que las interrupciones generadoras de mayor demora en el proceso fueron: por “Otras Operativas Hornos”: *Limpieza de EBT con un 16% de incidencia, Cambio de Electrodo con un porcentaje de ocurrencia de 12%, Destape del EBT con un 8%, Bajando Carbono con un 6% y Reparación de Bancos con un índice de 4%*. Por las Interrupciones de “Reparación en Caliente” lo conocido como *Parchado* se presentó que durante los años de estudio en que la planta funcionó



de manera más continua en su producción, este evento superaba el tiempo estipulado de trabajo por el Área de Ingeniería Industrial de SIDOR que es 84h/año. Y a su vez se presentó que de las interrupciones de “Servicio de Acería” el evento con mayor incidencia fue *Falta de Pot Carrier* con un índice de demoras del 80%.

4. Mediante la implementación de software *DS for Windows* se realizó un análisis de líneas de espera en cada uno de los procesos (exceptuando Servicio de Acería) con los que se estudió la “situación actual” y la “situación optimizada”, con la ayuda de los tiempos necesarios para la realización de los diagramas de flujo.
5. Se concluyó necesario el entrenamiento de nuevos operadores de grúas para la optimización de las tareas de alargue de electrodo y cambio de electrodo. Que a su vez, ayudará a la fácil realización de otras tareas entro del área que necesiten la movilidad de una grúa.
6. En la actividad de cambio e electrodo, se precisó necesario la asignación de otra grúa al sistema. Con esto se eliminaran tiempos muertos.
7. Se solicita un estudio al material refractario utilizado para sellar el *EBT* para evitar que este quede solidificado en cada colada.
8. Se sugiere la capacitación de la masa laboral para reconocer el estado óptimo de las paredes y soleras del horno.
9. Se debe solicitar el estudio químico del *HRD* previo a ser enviado al área de palanquillas.
10. Al soporte de la lanza de oxígeno le es necesario la implementación de ruedas en su base para la realización del Parchado por razones ergonómicas.
11. La tarea de parchado también se vio afectada por el tiempo de espera que se vive al cambiar el saco de material refractario, por lo que se pide el llenado del mismo antes de comenzar la actividad.



- 
12. Se debe asegurar un material refractario de buena calidad, para evitar las repetidas reparaciones del horno, durante cada turno.
  13. Por razones de tiempo y falta de conocimientos en la materia no se realizó un análisis completo con las actividades de *Servicios de Acería*, ya que requiere análisis mecánicos debido a que el generador de estas demoras son las fallas del Pot Carrier.



---

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que serán presentadas se dan en pro a la ayuda y mejora de trabajos similares.

1. Estudiar las actividades operativas *Cargando Cesta*, *Reparación del EBT* y *Rotura del Electrodo*, debido a que estas pertenecen al grupo “Otras Operativas Horno” y forman parte de los eventos con mayores demoras según los registros presentados, pero no fueron analizadas en este trabajo porque no se vivenciaron durante el tiempo de estudio.
2. Realizar un estudio mecánico a las fallas del Pot Carrier.
3. Entrenar nuevos operadores de grúas, para la optimización de las actividades *Alargue* y *Cambio de Electroodos*, y *Reparación de Bancos*.
4. Asignar una grúa más para realizar la actividad del *Cambio de Electroodos*.
5. Implementar material refractario de buena calidad para el sellado del EBT y el cubrimiento de las paredes y piso del horno, ayudando así a reducir la ocurrencia de las actividades *Destape del EBT* y *Parchado*.



- 
6. Capacitar al personal para que sepan reconocer el estado necesario para un trabajo seguro de las paredes y piso del horno, reduciendo así el tiempo de *Revisión de Cuba*.
  7. Exigir el análisis químico del HRD por parte del Área de Matera Prima, al momento de que es enviado a la Acería de Palanquillas. Así se eliminaría la demora de “espera por análisis químico” en el proceso de *Bajando Carbono*.
  8. Implementar ruedas al soporte de la lanza proyectadora de material refractario utilizada en el *Parchado*, buscando así un trabajo en menos tiempo y que genere menos cansancio al operador.
  9. Cambiar el saco de material refractario cada vez que este se termine con la finalidad de eliminar un tiempo de demora de alrededor 5 minutos antes de la realización del *Parchado*.



---

## LISTA DE REFERENCIAS

- Arias, F. (2004). *El Proyecto de la investigación. Introducción a la Metodología Científica*. Caracas: Editorial Espíteme.
- Ander- Egg (1977:40), *Descripción de estudios formulativos y descriptivos* de [http://www.metodosrecreacion.blogspot.com/p/blog-page\\_9449.html?m=1](http://www.metodosrecreacion.blogspot.com/p/blog-page_9449.html?m=1)
- Ander- Egg, Aguilar (1992:6), *Definición de Evaluación*
- Dankhe. (1986), *Estudios descriptivos*
- Enríquez J, Tremps E, Fernández D (Noviembre 2009). *Monografías sobre tecnología del Acero, parte I, Colada del Acero*. España: Madrid.
- Hernández, S, *Definición de Investigación Descriptiva*
- Hurtado (1998), *Definición de Evaluación*
- Hurtado Barrera (200) García, R. (2005). *Medición del Trabajo, 2da Edición. Mc Graw-Hill*. México.
- Presilla, A. (2011), Trabajo e Grado “Diagnóstico de las limitaciones que afectan la secuencialidad en las máquinas de colada continua en acería de planchones en los diferentes productos”.
- Sabino (1992), *Referencia al análisis de datos cuantitativos*
- Sabino, C. (2000). *El Proceso de la Investigación*. Caracas: Panapo de Venezuela, C.A



- 
- Sabino Sampieri, Hernández, Baptista (2003), *Definición de Análisis Cuantitativo*
  - Sierra (1991), *Definición de Observación Directa*
  - Sidor. (2009). *La nueva Sidor, Sidor es Venezuela, Historia Siderúrgica*. Recuperado el 20 de Julio de 2014, de <http://www.Sidor.com/index.php/la-nueva-Sidor-54/Sidor-es-venezuela/historia-siderurgica>.
  - Viamonte, M. (2010), *informe de pasantía “Análisis de las causas que limitan la secuencialidad en las máquinas de colada continua en acería de planchones en los productos hojalata y bandas API”*.