



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

**DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT PARA CHUMACERAS DE MOLINOS DEL TÁNDEM  
"A" Y TÁNDEM "B" Y ANÁLISIS DEL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZA DE LAVADO  
DE GASES DE CALDERAS DE LA DIVISIÓN INDUSTRIAL DEL INGENIO SANTA ANA**

**Carlos Fernando Avalos Arrecis**

Asesorado por el Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel

Guatemala, enero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT PARA CHUMACERAS DE MOLINOS DEL TÁNDEM  
"A" Y TÁNDEM "B" Y ANÁLISIS DEL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZA DE LAVADO  
DE GASES DE CALDERAS DE LA DIVISIÓN INDUSTRIAL DEL INGENIO SANTA ANA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CARLOS FERNANDO AVALOS ARRECIS**

ASESORADO POR EL ING. JAIME HUMBERTO BATTEN ESQUIVEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, ENERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Medina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

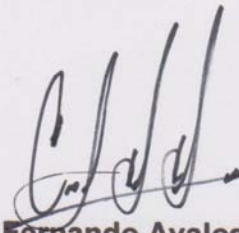
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT PARA CHUMACERAS DE MOLINOS DEL TÁNDEM "A" Y TÁNDEM "B" Y ANÁLISIS DEL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZA DE LAVADO DE GASES DE CALDERAS DE LA DIVISIÓN INDUSTRIAL DEL INGENIO SANTA ANA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, el 19 de febrero de 2010.



**Carlos Fernando Avalos Arrecis**



Guatemala, 31 de julio de 2012.  
REF.EPS.DOC.1027.07.12.

Ingeniera  
Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Inga. Sarmiento Zeceña.

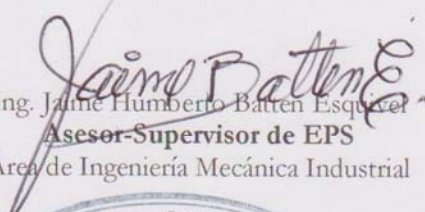
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, **Carlos Fernando Avalos Arrecis**, Carné No. **200113471** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT PARA CHUMACERAS DE MOLINOS DEL TÁNDEM "A" Y TÁNDEM "B" Y ANÁLISIS DEL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZA DE LAVADO DE GASES DE CALDERAS DE LA DIVISIÓN INDUSTRIAL DEL INGENIO SANTA ANA"**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel  
**Asesor-Supervisor de EPS**  
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



JHBE/ra



Guatemala, 31 de julio de 2012.  
REF.EPS.D.650.07.12

Ingeniero  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Presente

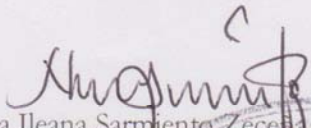
Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT PARA CHUMACERAS DE MOLINOS DEL TÁNDEM "A" Y TÁNDEM "B" Y ANÁLISIS DEL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZA DE LAVADO DE GASES DE CALDERAS DE LA DIVISIÓN INDUSTRIAL DEL INGENIO SANTA ANA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Carlos Fernando Avalos Arrecis** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT PARA CHUMACERAS DE MOLINOS DEL TÁNDEM “A” Y TÁNDEM “B” Y ANÁLISIS DEL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZA DE LAVADO DE GASES DE CALDERAS DE LA DIVISIÓN INDUSTRIAL DEL INGENIO SANTA ANA**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Fernando Avalos Arrecis**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



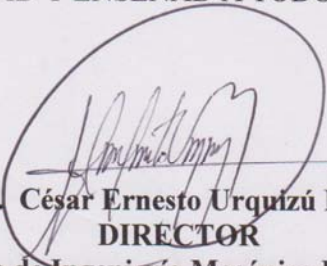
Guatemala, agosto de 2012.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT PARA CHUMACERAS DE MOLINOS DEL TÁNDEM "A" Y TÁNDEM "B" Y ANÁLISIS DEL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZA DE LAVADO DE GASES DE CALDERAS DE LA DIVISIÓN INDUSTRIAL DEL INGENIO SANTA ANA**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Fernando Avalos Arrecis**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. César Ernesto Urquízú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, enero de 2013.

/mgp





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT PARA CHUMACERAS DE MOLINOS DEL TÁNDEM "A" Y TÁNDEM "B" Y ANÁLISIS DEL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZA DE LAVADO DE GASES DE CALDERAS DE LA DIVISIÓN INDUSTRIAL DEL INGENIO SANTA ANA**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Fernando Avalos Arrecis**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 18 de enero de 2013

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por llenar de sabiduría los pasos para llegar a este logro.
<b>Mi hijo</b>	Diego Avalos, por fortalecerme a seguir adelante.
<b>Mi madre</b>	Olga Arrecis, por darme la vida y los principios.
<b>Mi abuela</b>	Teresa Álvarez, por sacrificarse a enseñarme lo mejor y cuidar de mi persona.
<b>Mi esposa</b>	Lesbia Castellanos, por darme aliento a seguir adelante y compartir los momentos más difíciles y sobresalientes a lo largo de estos años.
<b>Félix Ruano</b>	Por haberme dado el mejor consejo.
<b>Mis amigos</b>	Alejandro Girón, Erick Gonzales, Nelvin Cruz, Estuardo Palencia, Manuel Juárez, por mostrar su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Ingenio Santa Ana**

Por abrirme las puertas del aprendizaje.

**Ing. Gustavo De León**

Por brindarme su asesoría y sabiduría desinteresada.

**Ing. Orlando Pinzón**

Por apoyarme en la creación de este reporte.

**Ing. Jaime Batten**

Por guiarme en la realización de este reporte.

**Ing. Arnoldo Castrillo**

Por apoyarme en la culminación de este reporte.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SIMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA.....	1
1.1. Antecedentes generales.....	1
1.1.1. Reseña histórica.....	1
1.1.2. Visión.....	3
1.1.3. Misión.....	3
1.1.4. Productos que genera.....	3
1.1.5. Normas de calidad.....	4
1.1.6. Políticas de calidad.....	4
1.2. Estructura organizacional de la empresa.....	5
1.2.1. Organigrama por departamentos.....	5
1.3. Proceso de producción de azúcar.....	6
1.4. Proceso de producción de energía eléctrica.....	8
1.5. Ubicación.....	8
2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL. DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT PARA CHUMACERAS DE MOLINOS DEL TÁNDEM “A” Y TÁNDEM “B” .....	11
2.1. Diagnóstico.....	11

2.1.1.	Análisis de situación actual de la empresa.....	11
2.1.1.1.	Departamento de Molinos.....	12
2.1.1.1.1.	Taller mecánico.....	16
2.1.1.2.	Herramientas de ingeniería.....	30
2.1.1.2.1.	Diagrama causa-efecto.....	30
2.1.1.2.2.	Tormenta de ideas.....	31
2.1.1.3.	Riesgos en el trabajo.....	33
2.1.1.3.1.	Condiciones inseguras en la fundición.....	33
2.1.1.3.2.	Actos inseguros en la fundición.....	34
2.1.1.4.	Personal de operación.....	35
2.2.	Diseño del horno de fundición de babbitt para chumaceras del Tándem “A” y Tándem “B” .....	36
2.2.1.	Propuesta.....	36
2.2.1.1.	Horno de crisol móvil u operación batch... ..	38
2.2.1.2.	Naturaleza del horno.....	38
2.2.1.3.	Material para construcción.....	49
2.2.1.4.	Dimensiones.....	50
2.2.1.4.1.	Chumaceras.....	55
2.2.1.4.2.	Diseño gráfico.....	56
2.2.1.4.2.1.	Plano.....	58
2.2.1.5.	Aspectos energéticos.....	59
2.2.1.6.	Aspectos económicos (comparación método actual con método propuesto).....	61
2.2.2.	Montaje del horno.....	65
2.2.2.1.	Ubicación.....	66
2.2.2.1.1.	Diagrama de Panal.....	66

	2.2.2.1.2.	Pernos de anclaje y obra civil.....	68
2.2.3.		Operación con diseño propuesto.....	70
	2.2.3.1.	Reducción del tiempo de operación.....	73
	2.2.3.2.	Proceso administrativo.....	73
2.2.4.		Guía de mantenimiento para el horno de fundición de babbitt.....	76
	2.2.4.1.	Plan de mantenimiento.....	76
		2.2.4.1.1. Frecuencia de mantenimiento.	76
		2.2.4.1.2. Procedimiento de mantenimiento.....	77
		2.2.4.1.3. Lista de repuestos.....	78
	2.2.4.2.	Mantenimiento preventivo.....	78
		2.2.4.2.1. Limpieza.....	78
		2.2.4.2.2. Inspección de grietas en ladrillos refractarios.....	79
		2.2.4.2.3. Inspección del crisol.....	79
		2.2.4.2.4. Pruebas de funcionamiento....	80
		2.2.4.2.5. Ficha de control.....	81
3.		FASE DE INVESTIGACIÓN. ANÁLISIS DEL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZAS DE LAVADO DE GASES DE CALDERAS.....	83
3.1.		Sistema de tratamiento de agua de cenizas de lavado de gases de calderas.....	83
	3.1.1.	Descripción.....	84
		3.1.1.1. Flujograma esquemático del proceso.....	86
	3.1.2.	Estudio técnico.....	88
		3.1.2.1. Balance de fluido de sólidos residuales....	88

3.1.2.2.	Localización óptima del sistema.....	90
3.1.2.2.1.	Diagrama de panel.....	90
3.1.2.3.	Determinación del tamaño óptimo.....	92
3.1.2.4.	Maquinaria y equipo.....	94
3.1.2.4.1.	Celdas de decantación.....	94
3.1.2.4.2.	Tanques.....	94
3.1.2.4.3.	Conjunto de perfiles.....	95
3.1.2.4.4.	Bombas.....	96
3.1.2.4.5.	Filtro tamiz rotativo.....	97
3.1.2.4.6.	Prensa desaguadora.....	98
3.1.3.	Estudio financiero.....	98
3.1.3.1.	Costos de operación y mantenimiento del proyecto.....	99
3.1.3.2.	Beneficio-costo del proyecto.....	100
3.1.3.3.	El Valor Presente Neto.....	105
3.1.3.4.	La Tasa Interna de Retorno.....	107
4.	FASE ENSEÑANZA APRENDIZAJE. CAPACITACIÓN PARA USO DE HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT.....	109
4.1.	Plan de capacitación.....	109
4.1.1.	Creación de unidades.....	109
4.1.2.	Plan de trabajo .....	118
4.1.2.1.	Programación.....	118
4.1.3.	Metodologías.....	119
4.2.	Plan específico.....	120
4.2.1.	Capacitación afectiva.....	120
4.2.2.	Capacitación cognoscitiva.....	120
4.2.3.	Capacitación psicomotriz.....	120
4.3.	Resultados.....	121

4.3.1.	Examen teórico.....	121
4.3.2.	Examen práctico (oral).....	121
4.4.	Seguimiento y mejora.....	124
CONCLUSIONES.....		125
RECOMENDACIONES.....		127
BIBLIOGRAFÍA.....		129





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama funcional de la División Industrial del Grupo Corporativo Santa Ana.....	6
2.	Mapa de ubicación de la empresa.....	9
3.	Maza cilíndrica.....	13
4.	Virgen para molino.....	13
5.	Bancada con chumacera de babbitt.....	15
6.	Foto de lingote de babbitt.....	17
7.	Imagen de especificación ASTM B-23.....	18
8.	Foto de eliminación de material con equipo oxicorte.....	19
9.	Foto de molde con bancada nueva.....	20
10.	Foto de crisol para fundición.....	21
11.	Foto de preparación de bancada con molde.....	22
12.	Foto de vertido en bancada nueva con molde.....	22
13.	Foto maquinado de chumacera.....	23
14.	Diagrama de flujo del proceso actual de fundición.....	24
15.	Foto de chumacera mal fundida.....	26
16.	Diagrama causa-efecto (Ishikawa).....	31
17.	Composición del horno.....	39
18.	Ubicación del sensor de medición de temperatura.....	41
19.	Sensor de medición de temperatura Stand By.....	42
20.	Ángulos de medición de temperatura.....	43
21.	Caja electrónica del sensor de temperatura.....	43
22.	Hogar del horno con válvula cerrada.....	44

23.	Hogar del horno con válvula abierta .....	45
24.	Combinación del proceso con válvula.....	45
25.	Hogar del horno sin abrir válvula de escape .....	46
26.	Salida de gases en base de crisol y hogar del horno.....	47
27.	Quemador de oxiacetileno .....	47
28.	Boquillas para quemador para oxiacetileno .....	48
29.	Vista de elevación del quemador en el horno .....	48
30.	Vista de planta del quemador en el horno.....	49
31.	Dimensiones de una bancada con chumacera de babbit.....	51
32.	Pared de refractario .....	55
33.	Elevación frontal de una bancada con chumacera de babbit.....	55
34.	Elevación lateral de una bancada con chumacera de babbit.....	56
35.	Boceto en tres dimensiones del horno .....	57
36.	Plano de diferentes vistas .....	58
37.	Diferencias de radio en hogar del horno y crisol .....	60
38.	Diagrama de Gantt para construcción de horno de fundición .....	66
39.	Diagrama de panal de ubicación de horno.....	67
40.	Esquema de ubicación del horno.....	68
41.	Pernos de expansión .....	69
42.	Diagrama de flujo del proceso propuesto de fundición .....	75
43.	Ficha de control de mantenimiento de horno de fundición.....	82
44.	Lavador de gases o scrubber.....	85
45.	Diagrama esquemático de tratamiento de cenizas .....	87
46.	Caudalímetro .....	88
47.	Demostración de ecuaciones.....	89
48.	Diagrama de ubicación de la planta.....	91
49.	Materiales de chumaceras .....	110
50.	Grados babbit .....	111
51.	Grados babbit en el taller .....	111

52.	Hornos básicos en la fundición.....	112
53.	Diseño esquemático del horno .....	113
54.	Procedimiento de operación.....	114
55.	Procedimiento de operación para fundición .....	114
56.	Seguridad de operación .....	115
57.	Prueba de horno.....	116
58.	Mantenimiento del horno.....	117
59.	Mantenimiento correctivo del horno .....	117

## TABLAS

I.	Grados de metal babbit .....	16
II.	Costo de fundición actual .....	29
III.	Evaluación del área de trabajo .....	34
IV.	Materiales de construcción del horno .....	49
V.	Resumen de práctica de diferencia de radios .....	60
VI.	Costo de fundición propuesto.....	62
VII.	Resumen del costo único de construcción del horno .....	64
VIII.	Lista de repuestos en <i>stock</i> .....	78
IX.	Costo de material y equipo de sistema para tratamiento de agua de cenizas .....	98
X.	Rubros del flujo de caja.....	106
XI.	Flujo de caja para 5 años .....	106
XII.	Evaluación teórica .....	122



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>[Q]</b>	Caudal
<b>G</b>	Galones
<b>GPM</b>	Galones por minuto.
<b>°</b>	Grados
<b>°C</b>	Grados Celsius o Grados Centígrados.
<b>Hz</b>	Hertz
<b>h</b>	Horas (sistema internacional)
<b>km</b>	Kilómetros (sistema internacional)
<b>kw</b>	Kilowatts
<b>lb</b>	Libras (sistema inglés)
<b>psi</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>MW</b>	Megawatts
<b>m</b>	Metros (sistema internacional)
<b>min</b>	Minutos (sistema internacional)
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b><math>\pi</math></b>	Pi, equivale a 3.141592 de forma adimensional
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>”</b>	Pulgadas
<b>t</b>	Toneladas



## GLOSARIO

<b>ASTM</b>	Sociedad americana de pruebas y materiales, por sus siglas en inglés, que complementa a una norma de calidad.
<b>Babbitt</b>	Término genérico para designar aleaciones suaves con base de estaño y plomo, que se funden como superficies de cojinete o apoyo en tapas o respaldos de acero, bronce o hierro fundido.
<b>Bagazo</b>	Biomasa residuo de la caña de azúcar después de extraído su jugo.
<b>Bancada</b>	Base metálica con preforma circular interna que sirve como asiento a la chumacera.
<b>BPM</b>	Buenas Prácticas de Manufactura
<b>Cachaza</b>	Derivado del aprovechamiento industrial de la caña de azúcar y mecanismo de mayor capacidad para producir masa verde como abono.
<b>Característica catódica</b>	Electrodo negativo de una célula electrolítica.



<b>Carburo de silicio</b>	Utilizado como material refractario en ladrillos y crisoles.
<b>Caudalímetro</b>	Instrumento analógico que mide volumen de agua por unidad de tiempo.
<b>Choque térmico</b>	Conocida como fatiga mecánica, provocado por cambios térmicos a los que se ven sometidos los materiales cuando son colocados a condiciones de servicio.
<b>Chumaceras</b>	Llamado cojinete de superficie plana, también diseñado para soportar una carga en movimiento relativo entre dos piezas.
<b>Clarificación</b>	Proceso químico de limpieza de impurezas del jugo de caña.
<b>Colada</b>	Llevar y mantener la forma líquida de un material metálico dentro de un crisol.
<b>Crisol</b>	Recipiente metálico o de grafito como parte de un horno que sirve como intermediario entre la llama y el material a fundir, manteniéndolo líquido.
<b>Desbastado</b>	Remoción de material de piezas sólidas por medio de maquinado.

<b><i>Display</i></b>	Visualizador de ciertos aparatos electrónicos que permite mostrar información al usuario.
<b>Embebilidad</b>	Aptitud de un cojinete para que se incrusten en él partículas extrañas.
<b>EPP</b>	Equipo de protección personal
<b>Equipo de oxicorte</b>	Equipo de trabajo de corte y soldadura caracterizado por la utilización de gases de acetileno y oxígeno.
<b>Floculante</b>	Polímero que induce la coagulación de los sólidos residuales de la quema del bagazo, el que está dentro de un tanque esperando a ser bombeado a las celdas de decantación según el flujo esperado.
<b>Fogonero</b>	Persona empleada, auxiliar del operador de caldera, que manipula una herramienta para el movimiento del bagazo no quemado dentro de la caldera.
<b>Formabilidad</b>	Aptitud del material del cojinete para adaptarse a las variaciones del eje que soporta.
<b>Fundición</b>	Proceso para la fabricación de metales por medio de un horno, crisol y combustible.
<b>Grafito</b>	Mineral aplicado en ladrillos y crisoles, compuesto por carbono y arcilla.

<b>HACCP</b>	Sistema de análisis de riesgos y puntos críticos de control, por sus siglas en inglés.
<b>ISO</b>	Organización Internacional para la Estandarización, por sus siglas en inglés.
<b>Maquinado</b>	Proceso de remoción de material a piezas sólidas como metales.
<b>Mazas</b>	Cilindro de gran tamaño y peso, compuesto por un eje de acero con una camisa de hierro fundido en su parte media, también se les llama cilindros o rodillos.
<b>Máquinas herramientas</b>	Máquinas utilizadas para dar forma a materiales sólidos, principalmente metales.
<b>Muñón</b>	Pieza metálica hecha a la medida para que encaje exactamente con otra.
<b>Operación Batch</b>	Proceso de fundición de metales por coladas individuales o por lotes.
<b>Poliacrilamida</b>	Gel utilizada para realizar separación por carga y tamaño molecular.
<b>Polielectrolito</b>	Polímero que posee grupo de electrolitos.
<b>Potencia</b>	Cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo.

<b>Prensa desaguadora</b>	Dispositivo electromecánico que deshidrata la cachaza antes de depositarla en la tolva de cachaza.
<b>Quinel</b>	Canal de concreto para trasportar agua en forma trapezoidal.
<b>Ratio</b>	Es la relación de la velocidad rotacional de entrada entre la velocidad rotacional de salida que cede un reductor.
<b>Reductor</b>	Máquina cuyo movimiento es generado por un motor que adapta la velocidad de éste a la necesidad del funcionamiento.
<b>Refractario</b>	Material cerámico que es capaz de mantener sus propiedades a elevadas temperaturas.
<b>Scrubbers</b>	Lavador de gases instalado en la salida del tiro inducido de calderas.
<b>Segregación</b>	Es una concentración desigual de los elementos hallados en la aleación. En la fabricación de lingotes, la segregación viene agravada por la acción enfriadora del molde.
<b>SIGES</b>	Sistema Integrado de Gestión de Empresas.
<b>Tamiz</b>	Filtro con una malla de orificios determinados a su aplicación.

<b>Termocupla</b>	Sensor de temperatura más común utilizado en la industria.
<b>Tolva de cachaza</b>	Recipiente metálico de figura piramidal invertida que almacena la cachaza obtenida de clarificación y sistema de cenizas y gases.
<b>Torque</b>	Propiedad física de la fuerza para hacer girar un cuerpo.

## RESUMEN

El siguiente documento es el trabajo de graduación que a través del Programa de Ejercicio Profesional Supervisado se desarrolló en las instalaciones del Ingenio Santa Ana específicamente en el Departamento de Molinos y el Departamento de Calderas que a través de la investigación, diseño y análisis se logró poner en práctica los conocimientos de Ingeniería Mecánica Industrial.

En busca de una oportunidad de mejora dentro del taller mecánico perteneciente al Departamento de Molinos se hizo presente la necesidad de un nuevo equipo, que basado al proceso actual que consta en la fundición de babbit a través de un crisol de acero aleado al carbón con llama directa al metal y al crisol la colada es oxidada y no es homogénea respectivamente, por tal motivo, se debe estar cediendo calor por tiempo consideradamente extenso y sin ningún control.

Se propone un diseño de horno de fundición para que de forma técnica los torneros puedan fundir chumaceras a partir de metales pesados como el babbit, tal equipo es diseñado para evitar condiciones inseguras, mejorar las propiedades del metal en la fundición para la operación, evitar el costo de oportunidad por tiempo mal invertido y disminuir el costo de operación por fundición, también dentro de las actividades del diseño esta la capacitación que se aporó al personal del taller en el uso y operación del equipo, el costo de inversión y el tiempo de retorno de la inversión en base al número de veces que sea utilizado el equipo en relación al proceso actual.

El documento se complementa con el análisis del sistema de tratamiento de agua de lavado de cenizas y gases para la reducción de la utilización de agua de calderas, describiendo el equipo y materiales a utilizar para obtener los costos totales del sistema y evaluarlo con características económicas para respaldar el beneficio-costos de la operación del sistema, el sistema es propuesto como un esfuerzo a la mejora por una producción más limpia y amigable con el medio ambiente, obteniendo no solo beneficios económicos por la reducción de energía para la extracción de agua subterránea sino también para el incremento de la calidad del producto y del nivel de la imagen de la empresa en tratados comerciales internacionales.

# OBJETIVOS

## General

Proponer el diseño de un horno de fundición de babbit para chumaceras de molinos y analizar el sistema de tratamiento de agua de cenizas de lavado de gases de calderas.

## Específicos

1. Desarrollar por medio de cálculos geométricos y de capacidad el diseño de un horno de fundir babbit para chumaceras.
2. Practicar métodos experimentales para obtener una temperatura adecuada para la forma que se le da al hogar del horno.
3. Contrastar el tiempo, las condiciones, el proceso y el costo actual de operación, sin diseño del horno y con el diseño del horno propuesto.
4. Realizar estudio técnico y estudio financiero para el sistema de tratamiento de agua de cenizas de lavado de gases de calderas.
5. Evaluar el beneficio-costos de operación obtenido por el cambio de operación de extracción de agua subterránea y el tratamiento de agua de cenizas de lavado de gases.



6. Analizar los beneficios de la instalación de una planta amigable con el medio ambiente en la mejora para la producción más limpia.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de las soluciones de autosuficiencia en el Ingenio Santa Ana, es encontrar nuevas alternativas para fabricar sus propios repuestos como una opción de reducción de costos y obtener mayor eficiencia del repuesto.

Basada la experiencia del personal que los fabrica, para tal motivo, y para obtener periodos más extensos entre reparación de chumaceras de reductores de baja de los molinos de extracción de jugo de azúcar, surge la oportunidad de desarrollar el diseño de un horno de fundición de babbit para chumaceras, que mejora las propiedades del metal y las condiciones del personal, tecnificando la manera de fundir, evitando el costo de oportunidad, disminución del tiempo y el costo de operación, estos aspectos se consiguen desarrollando un diseño que es adaptado a las necesidades de fundición de las chumaceras.

Para ello, se realizaron cálculos geométricos, de capacidad y energéticos que según las propiedades del metal debe mantener en la operación. La chumacera al carecer de formabilidad y embebilidad tienden a desgaste prematuro por la carga axial que estas deben soportar y esperando de la fundición no se pierdan estas propiedades se debe tener un equipo especial para la fundición de babbit que pueda mantener controlada la temperatura y homogéneo el calor cedente al crisol sin exponer el metal a una llama directa, beneficiando de esta manera el costo de la mano de obra y el costo de operación en contraste con el actual.

El análisis del sistema de tratamiento de agua de cenizas de lavado de gases de calderas está enfocado a una producción más limpia en función del

beneficio ambiental y de rendimiento de recursos como el agua, el económico por el ahorro de energía de extracción de agua subterránea y el impacto positivo de la imagen de la empresa a nivel internacional al momento de algún tratado comercial.

# **1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA**

Describir en forma general la información de la empresa es el objetivo de este capítulo.

## **1.1. Antecedentes generales**

En estos últimos años, la producción azucarera de Guatemala ha tomado más importancia, debido a que en las cosechas recientes se han alcanzado niveles récord de producción, ocupando en el último año el tercer lugar como exportador más grande de Latinoamérica y el Caribe, y el sexto en importancia a nivel mundial. Este hecho representa significativos beneficios económicos para el país, sobre todo, por la generación de divisas y por el empleo que la industria azucarera provee.

### **1.1.1. Reseña histórica**

En 1968 un grupo de empresarios adquirió parte de los equipos de los Ingenios Santa Juana y Canóvanas de Puerto Rico, iniciándose así la construcción del Ingenio Santa Ana, en la Finca Cerritos, ubicada a 65 km. al sur de la ciudad de Guatemala, en el departamento de Escuintla, a 220 m. sobre el nivel del mar. La primera zafra prueba se hizo en 1969/70, moliéndose 154 973.75 toneladas de caña y produciendo 239 525 quintales de azúcar en 136 días; la capacidad instalada en esa época era de 3 500 ton/día.

En 1993 comenzó a operar la refinería, diseñada para elaborar refino de alta calidad, partiendo de la azúcar blanca sulfitada, con capacidad de 500

toneladas de azúcar por día. Cuenta con 3 tachos, 7 filtros, 6 centrifugas automáticas, una secadora y una enfriadora; años más adelante, se instaló un clarificador de azúcar disuelta, para poder trabajar con azúcares afinadas.

En el área de Cogeneración, el Ingenio Santa Ana produjo su propia energía eléctrica desde el comienzo de sus operaciones. En efecto, desde 1969 contó con una potencia instalada de 3 500 kw., actualmente la capacidad instalada es de 53 Mw.

Las operaciones de corte de caña, se iniciaron en el período 1977 / 78. Se empleaban 1 200 cortadores para cortar 1 000 toneladas de caña diarias, con machete convencional. Hace 23 años, se inició el programa de capacitación permanente para el corte de caña con machete australiano, habiéndose incrementado la eficiencia en el corte, la calidad de producto final, y los ingresos de los cortadores. Así también, se construyeron módulos habitacionales con todas las comodidades, para albergar a los cortadores de cuadrilla, procedentes del altiplano guatemalteco, a los cuales se proporciona alimentación abundante en proteínas, completada con sales de rehidratación oral.

En 1996, Santa Ana avanzó significativamente en sus planes estratégicos, al desarrollar una de las fábricas más eficientes, montando un segundo tándem de molinos lo cuál logró colocar mayor capacidad instalada, con equipo de alta tecnología, ello apoyado por un proyecto de automatización industrial único en Centro América, alcanzando en la zafra 2009/2010 una producción récord de 6 090 031.95 de quintales de azúcar.

### **1.1.2. Visión**

“Ser un grupo corporativo visionario, comprometido con el progreso y bienestar de Guatemala, dedicado a producir eficientemente bienes y servicios de óptima calidad, derivados de la caña de azúcar, por medio del desarrollo de los recursos humanos y tecnológicos para satisfacer las necesidades de nuestros clientes nacionales e internacionales”<sup>1</sup>.

### **1.1.3. Misión**

“Ser el equipo líder por excelencia en la administración estratégica de la agroindustria azucarera, competitivo en el contexto empresarial que demanda el siglo XXI, a través de un alto grado de tecnificación en todas sus áreas y un equipo humano motivado, desarrollado y visionario que se consolide como un grupo de clase mundial; superándose permanentemente por medio del mejoramiento continuo, con participación activa a todo nivel, sirviendo de modelo a otras empresas de Guatemala y Centro América para proyectarse al mundo”<sup>2</sup>.

### **1.1.4. Productos que genera**

Como muchas de las empresas, Ingenio Santa Ana tiene dos mercados hacia los cuales comercializa los diversos productos que son aceptados por su calidad.

---

<sup>1</sup> *Visión del Ingenio Santa Ana*. Manual de inducción a la corporación. División de Recursos Humanos. Departamento de Capacitación y Desarrollo. p. 6.

<sup>2</sup> *Misión del Ingenio Santa Ana*. Revista Notiazúcar. División de Recursos Humanos. Departamento de Capacitación y Desarrollo. p. 6.

- Mercado azucarero
  - Azúcar refinada
  - Azúcar cruda
  - Azúcar blanca estándar
  - Melaza
  
- Mercado energético
  - Energía eléctrica

La generación se efectúa a 13 000 voltios y es elevada a 69 000 voltios para su transferencia por medio de cableado eléctrico, 60 Hz, trifásica y un factor de potencia de 0.85. Durante la época de zafra, se generan 55 Mw. de los cuales se venden 34 Mw. a la Empresa Eléctrica de Guatemala; durante la época de reparación, se mantienen disponibles con una capacidad de 25 Mw.

#### **1.1.5. Normas de calidad**

Grupo Corporativo Santa Ana esta certificado con las siguientes normas de calidad:

- ISO 9001:2008
- HACCP
- KOSHER

#### **1.1.6. Políticas de calidad**

“La política de las empresas del Grupo Corporativo Santa Ana está dirigida a ofrecer productos que satisfacen los requerimientos de calidad de sus

clientes. Entendemos que la calidad se logra mediante un trabajo en equipo, integrado por personas que buscan su desarrollo día con día y realizan demostraciones constantes de su compromiso con el mejoramiento continuo de los procesos, para fortalecer nuestra competitividad y rentabilidad”<sup>3</sup>.

## **1.2. Estructura organizacional de la empresa**

Santa Ana está dirigida por una Junta Directiva, su estructura es de tipo funcional en una gerencia general con siete divisiones las cuales son como siguen:

- Gerencia general
- División de recursos humanos
- División agrícola y servicios
- División administrativa
- División industrial
- División informática
- División financiera

### **1.2.1. Organigrama por departamentos**

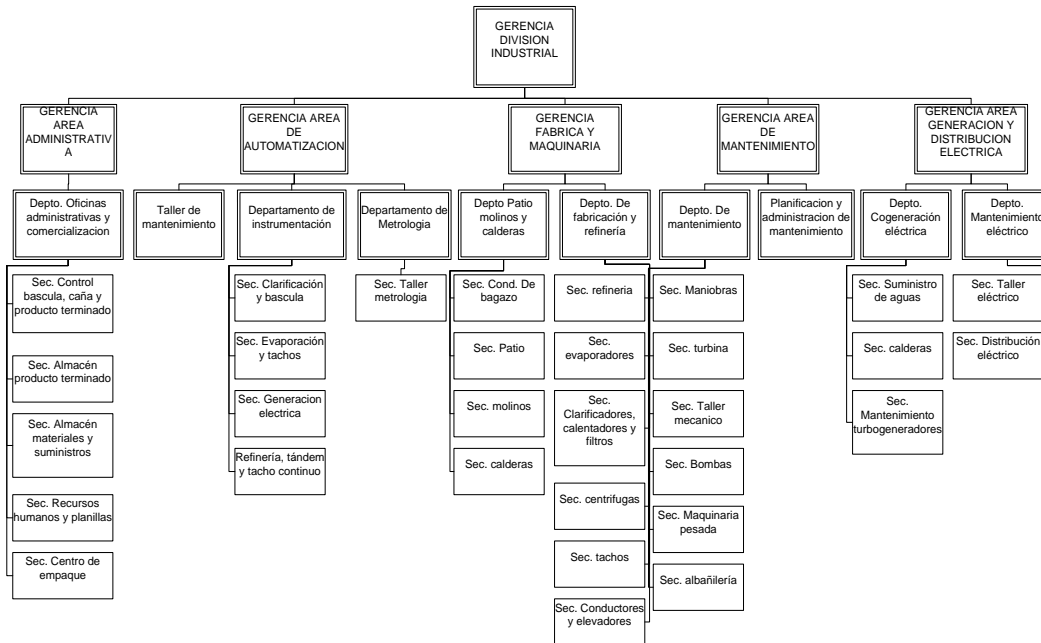
La división industrial, donde se realizó el siguiente trabajo de graduación cuenta con un Organigrama funcional por departamentos como aparece en la figura siguiente (ver figura 1).

---

<sup>3</sup> *Política de Calidad del Ingenio Santa Ana. Gestión de Control. Manual de Calidad. p. 2.*



Figura 1. Organigrama funcional de la División Industrial del Grupo Corporativo Santa Ana<sup>4</sup>



Fuente: División Recursos Humanos. Manual de inducción a la corporación, 3 p.

### 1.3. Proceso de producción de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una planta perenne que pertenece a la familia de las gramíneas, que tiene la ventaja de ser la más eficiente por transformar la energía solar en azúcares y biomasa.

También, genera igual cantidad de oxígeno que cualquier bosque tropical. La caña cuando se planta, produce de 4 a 7 cortes anuales (retoños), sin necesidad de plantarla cada año.

<sup>4</sup> Organigrama Funcional, Fuente Gerencia División Industrial

Toda la caña se corta manualmente, hay siete frentes de corte que suministran 19 000 toneladas de caña diarias. Aproximadamente existen más de 3 000 hombres dedicados al corte de caña, además de los que se dedican a las otras labores de la cosecha, como maquinaria, apuntadores, recogedores de caña, etc.

La caña llega al patio de dos formas: caña mecanizada que en su mayoría es verde, sin quemar; y caña a granel, que viene en contenedores, llamados jaulas, para que puedan ser fácilmente descargados.

En el patio, la caña es pesada en las básculas y luego se descarga en las mesas de caña, donde es lavada. Después, la caña pasa por los conductores donde es transportada y preparada para que en el sistema de molienda la extracción del jugo sea eficiente.

El sistema de molienda consiste de dos tándem de molinos, cada molino está compuesto de cuatro rodillos conocidos con el nombre de mazas. Se agrega agua de imbibición para facilitar la extracción de sacarosa. La finalidad principal de los molinos es conseguir la mayor separación posible de los dos elementos de la caña: fibra y jugo. El jugo extraído es bombeado a fábrica y el bagazo es conducido a calderas para utilizarse como combustible.

Luego del molino el jugo se pasa por calentadores para subirle la temperatura, luego pasa a clarificación para sacarle los lodos en los clarificadores que trabajan por medio de decantación; el lodo es enviado a los filtros de cachaza para extraer parte del jugo. El jugo del clarificador es enviado a los evaporadores, y luego a los tachos donde se concentra la miel para formar el grano de azúcar.

#### **1.4. Proceso de producción de energía eléctrica**

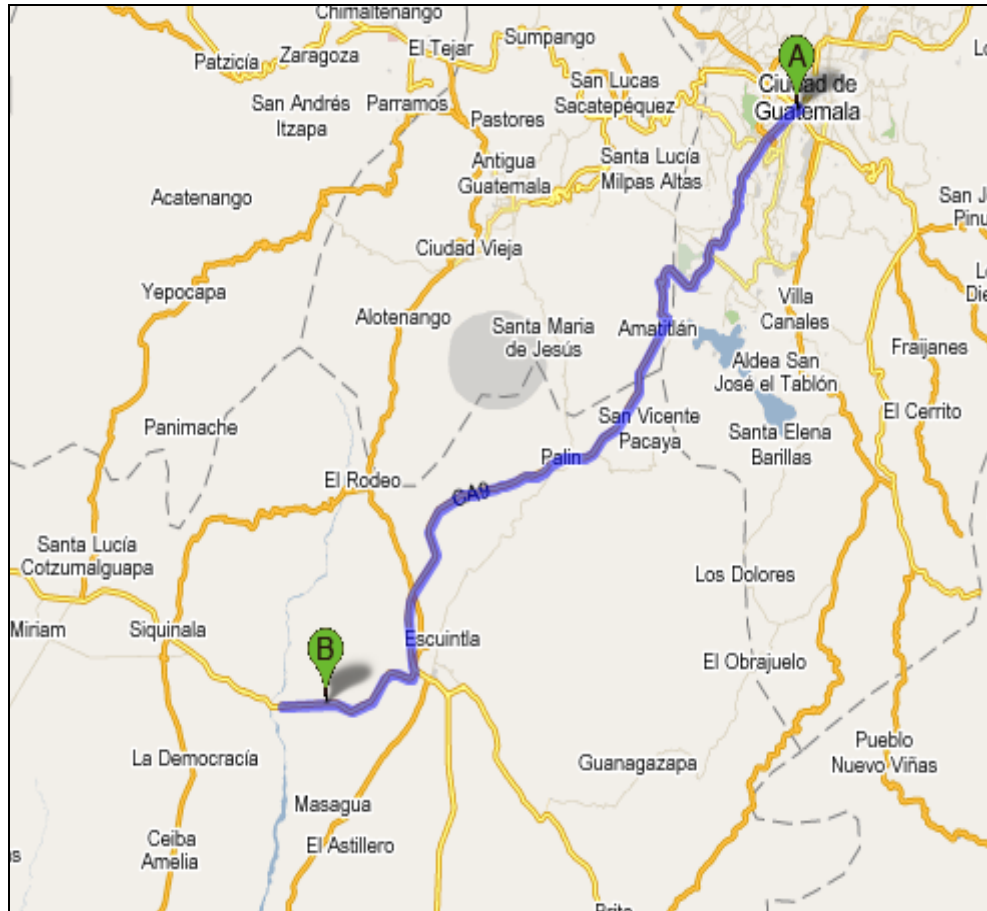
Luego de haber extraído el jugo del bagazo, éste se lleva a calderas que son las encargadas de generar todo el vapor necesario para el funcionamiento de las turbinas, turbogeneradores y cocimientos en el proceso de fabricación.

Los hornos de las calderas son alimentados con bagazo, que es transportado por conductores de tablillas o bandas transportadoras. Existe un sistema de conservación del bagazo sobrante durante el proceso normal; este es almacenado para ser utilizado durante paros de molienda, en la bodega bagacera.

#### **1.5. Ubicación**

El Ingenio Santa Ana está ubicado en el Kilómetro 64.5 carretera a Santa Lucia Cotzumalguapa, finca Cerritos, Escuintla como a continuación se muestra en el plano geográfico de la figura 2, como indicación para poder llegar al ingenio se colocó la referencia A como punto de partida el Trébol Capitalino y como referencia B el km. 64.5, (ver figura 2).

Figura 2. **Mapa de ubicación de la empresa**<sup>5</sup>



Fuente: Google Maps, ciudad de Guatemala – Escuintla 19 de julio de 2011.

<sup>5</sup> Mapa de ubicación Ingenio Santa Ana, Fuente Google Maps, 19 de julio de 2011.



## **2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL. DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT PARA CHUMACERAS DE MOLINOS DEL TÁNDEM “A” Y TÁNDEM “B”**

Fase en la cual se desarrollará el diagnóstico del problema y sus causas dentro del Departamento de Molinos.

### **2.1. Diagnóstico**

El objetivo es describir el diagnóstico del problema en las chumaceras de transmisión de potencia para mejorar las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM`s) en técnicas de fundición y las propiedades mecánicas del metal de chumacera en la operación de molinos también con aplicación en calderas.

#### **2.1.1. Análisis de situación actual de la empresa**

Cada ingenio azucarero para ser competitivo en la eficiencia energética y de sus recursos mecánicos para la producción del azúcar o energía eléctrica tiene que analizar cuales son sus puntos críticos de falla que puedan ocasionar un problema que afecte directamente la eficiencia, determinado como un porcentaje alto de efecto el fallo de las chumaceras de transmisión de potencia o en otra aplicación, y por seguridad del personal a cargo de la fundición, se realiza un diagnóstico previo.

### **2.1.1.1. Departamento de Molinos**

El Departamento de Molinos, conformado por dos tándem está alimentado por potencia de energía eléctrica (motores eléctricos) en el tándem A y por potencia de energía mecánica (turbinas de vapor) en el tándem B para la extracción de jugo de caña de azúcar.

Para la transmisión de potencia a las mazas se utiliza en cada molino una serie de reductores de velocidad (de alta, de media y de baja revolución) para dar la revolución, torque y potencia necesaria en la maza superior para que mueva por medio de engranajes las dos mazas restantes o tres si la configuración lo permite.

En la transmisión de potencia de baja revolución es donde están situadas las chumaceras o cojinetes de superficie plana de babbit, estos son cojinetes antifricción concéntricos que van montados en bancadas diseñadas para el muñón de la corona del reductor de baja, que al notar lo crítico que son estos cojinetes en la operación y la forma en que son fabricados se pretende diseñar un horno para fundir babbit y mejorar las prácticas de manufactura metal mecánicas del personal del taller mecánico y poder asegurar una molienda sin paros por fatiga de un metal mal fundido.

- Molinos: Un molino básicamente está conformado por dos bancadas llamadas vírgenes, que soportan cuatro mazas cilíndricas que giran sobre su eje, asentadas en chumaceras de bronce, (ver figura 3 y 4).
- Cada maza tiene su respectivo raspador, el molino es movido por un motor eléctrico o turbina de vapor y tres juegos de engranes, los molinos tienen un programa de mantenimiento y un plan de contingencia de

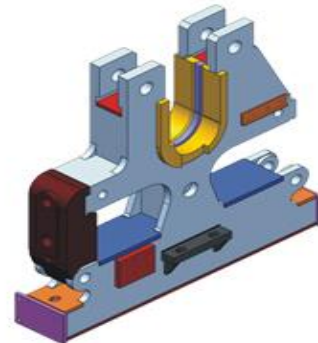
repuestos críticos por cualquier emergencia de algún paro no programado, un sistema de lubricación con actuadores automáticos que están provistos por un intervalo de tiempo para la aplicación de lubricante necesario a las chumaceras de bronce.

También cuentan con personal capacitado, encargado de supervisar, maniobrar y operar los molinos y son los encargados también del cambio de un repuesto crítico si así se requiriese, también se cuenta con un programa de medición de temperatura en las chumaceras de los molinos y reductores de transmisión de potencia que por cada turno se deben de inspeccionar por medio de una lámpara de medición de temperatura infrarroja anotando e ingresando los datos a un sistema de tendencia de temperaturas y lubricantes implementado para obtener una tendencia y prevenir fallas a la operación de molinos.

Figura 3. **Maza cilíndrica**



Figura 4. **Virgen para molino**



Fuente: Inducción Molinos de azúcar Ing. Santa Ana, 1994 p. 6.



- Descripción del funcionamiento: Cada molino se mueve a 6 rev/min, para transmitir esta velocidad se debe pasar por tres reductores que reducen la velocidad desde 3 600 rev/min hasta 6 rev/min si es una turbina la que genera el movimiento, y si es un motor, la velocidad se reduce desde 1 800 rev/min hasta 6 rev/min, independientemente si es una turbina o un motor eléctrico, la transmisión debe pasar por el reductor de alta que tiene un ratio establecido según sea la velocidad del generador de movimiento (turbina o motor), posterior a éste, se reduce nuevamente por el reductor intermedio y finalmente se reduce a 6 rev/min por medio del reductor de baja.

En los reductores de baja es donde se utilizan las chumaceras de babbit, estas chumaceras al igual que las de bronce de molinos están contempladas en el programa de previsión por medio de medición de temperatura por turno, esta medición realizada para prevenir un paro no programado funciona eficazmente estableciendo un tiempo de vida promedio de las chumaceras de babbit y captando cualquier problema o para estimar los intervalos de tiempo de los actuadores automáticos de lubricación.

- Chumaceras de las transmisiones: Debido a las condiciones de la transmisión, en el reductor de baja se debe utilizar chumaceras de babbit de base de estaño por la capacidad de carga y revoluciones bajas pero con suficiente potencia y torque que soporta, características antiarrastre, resistencia a la corrosión, formabilidad y embebilidad<sup>6</sup> que según las propiedades mecánicas del babbit y diseño del cojinete puede hacer su función<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> MERINO, Arturo; BAQUERO José Fernando. Chumaceras hidrodinámicas en turbomaquinaria. seminario de maquinaria para la industria azucarera. p. 10.

<sup>7</sup> HAMROCK, B.J., Jacobson; B.O., SCHMID, S.R.; Elementos de Máquinas. McGraw Hill. p. 275.

Los dos aspectos de diseño de elementos de máquinas anteriores debe ser muy considerado para que pueda cumplir con las condiciones de operación del reductor (ver figura 5), para mantener la vida útil del babbitt y evitar hacer retrabajos o disminuir la frecuencia de cambio de una chumacera de babbitt. Por medio de un análisis causa-raíz se puede detectar la necesidad del horno de fundición de babbitt según estos aspectos.

Figura 5. **Bancada con chumacera de babbitt.**



Fuente: Inducción Molinos de azúcar Ing. Santa Ana, 1994 p. 6.

Se utiliza babbitt en algunas de las chumaceras usadas en el ingenio. Como las chumaceras de turbinas, ventiladores de calderas y para los reductores de baja de los molinos ya que por el diseño de estas, el metal blanco es el que mejor adaptabilidad en el sistema tiene. El diseño del horno estará capacitado para cumplir las tres funciones por las temperaturas de manejo.

Clases de babbitt según la norma ASTM B23-00 a utilizar. (Ver tabla I)

Tabla I. **Grados de metal babbit<sup>8</sup>**

Grado	composición, %					Compresión de limite de fuerza		Dureza Brinell	
	Sn	Sb	Pb	Cu	As	68° F Lb/in <sup>2</sup>	20° C Mpa	68° F (20°C)	212° F (100° C)
2	89.0	7.5	0.4	3.5	--	14.9	103.0	24.5	12.0
3	84.0	8.0	0.4	8.0	--	17.6	121.0	27.0	14.5

Fuente: Manual del Ingeniero Mecánico. Cap. 6. p. 58.

El grado 2 es para altas revoluciones y baja carga, con un contenido alto en Estaño y bajo contenido de Antimonio, da condiciones de resistencia al arrastre, a la corrosión y proporciona una película adherente antifricción en la operación de ejes de alta velocidad, como por ejemplo, en las chumaceras de los ejes de los ventiladores de tiro inducido de las calderas o en las chumaceras de turbinas de vapor de generación de energía eléctrica (ver tabla anterior).

El grado 3 es para mayor capacidad de carga, que es la máxima presión unitaria bajo la cual una chumacera puede operar sin rozamiento, desgaste excesivo o daño por fatiga, estas características se obtienen por su contenido de estaño y alto contenido de antimonio, es el babbit adecuado para las chumaceras de reductores de baja.

#### 2.1.1.1.1. Taller mecánico

El taller mecánico dentro de la administración del Departamento de Molinos es el encargado de la fabricación, reparación y fundición de las piezas de todos los equipos de los departamentos de la División Industrial del Ingenio, está conformado por 22 máquinas herramientas con sus respectivos operarios y un jefe encargado. Actualmente este taller cuenta con los equipos adecuados para hacer todo tipo de trabajo de maquinado de piezas, pero se vio la necesidad de introducir un nuevo equipo para realizar las fundiciones de una

<sup>8</sup> THEODORE. EUGENE., Manual del ingeniero mecánico. 2005. p. 58.

forma mejor tecnicada para mantener la vida útil del babbitt conformado en las chumaceras de reductores.

- Recolectar información del proceso de fundición actual

La metodología empleada para la descripción del procedimiento de la fundición actual del metal babbitt, fue realizado a través de observación, en paralelo con entrevistas con el personal en el momento que lo ejecuta, con el objetivo de crear una idea, pasos que se llevan a cabo, hacer una comparación posterior con el diseño y proponer la mejora.

Para ello se observaron los detalles, herramienta, materiales, equipo, condiciones y recurso humano con que es ejecutado el procedimiento.

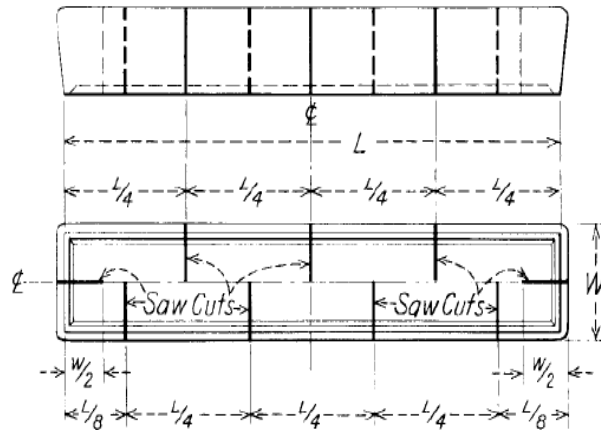
El babbitt tiene una presentación en lingotes de  $11 \frac{1}{4}'' * 2'' * 1 \frac{1}{2}''$  (ver figuras 6 y 7) para fundición y rollo de alambre de  $\frac{1}{8}''$  de diámetro para soldar daños en chumaceras que no ameriten fundición.

Figura 6. Foto de lingote de babbitt



Fuente: Área de trabajo de taller mecánico.

Figura 7. Imagen especificación ASTM B-23



Fuente: Norma ASTM B-23.

El proceso es el siguiente:

- Eliminación de la capa gastada de babbit de la bancada por medio de equipo de oxicorte: Para este paso, el soldador especializado con la ayuda de la grúa viajera pone en posición la bancada con la chumacera gastada de forma que se le facilite eliminarla totalmente por medio de un equipo de oxicorte, estos cortes los hace con formas rectangulares para su fácil desprendimiento de la bancada, el soldador se lleva un promedio de 1 hora en la eliminación de aproximadamente 70lb de babbit (ver figura 8). Posteriormente la pieza o bancada será maquinada en una fresadora para darles las dimensiones requeridas.

Figura 8. **Foto de eliminación de material con equipo oxicorte**

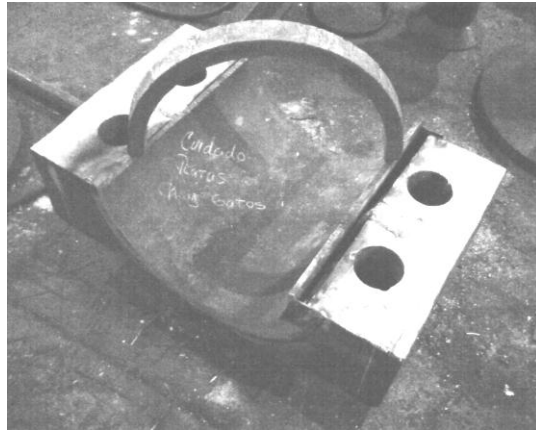


Fuente: Área de trabajo de taller mecánico.

- Limpieza y desengrase de la bancada: La limpieza se realiza mediante un solvente (thiner) para eliminar la suciedad o grasas dejadas por el maquinado de la bancada nueva, posterior a esto, el soldador especializado fabrica un molde de concreto refractario para hacer las ranuras donde llevará la lubricación la chumacera y otro molde de lámina rolada o sección de un tubo que sea de un diámetro aproximado al eje que asienta en la chumacera para su maquinado después de la fundición y con esto poder formar un espesor que será el perfil del cojinete de superficie plana (ver figura 9).
- Descripción de crisol de acero al carbono aleado: El crisol es un cilindro hueco con una tapadera al fondo de 12plg de diámetro por 18plg de altura fabricado de lámina de 5/16plg soportado por dos tubos en forma de “T” a cada extremo de la parte de arriba de 3pies de largo que sirve para colocar el material a fundir, este crisol es el que en sus paredes recibe todo el calor por conducción haciendo al material derretir pero conservarlo

dentro de un solo volumen para su homogeneidad, la preparación consiste en el calentamiento por llama directa al crisol.

Figura 9. **Foto de molde con bancada nueva**



Fuente: Área de trabajo de taller mecánico.

- **Fundición de babbit:** Se observa que el babbit empieza a fundirse debido al calor provocado por el equipo de oxicorte directo al crisol y que es cedido por conducción al material, el operario deposita la cantidad de babbit necesario y se observa que se empieza hacer líquida la colada del metal, tratando de derretir toda la cantidad del metal, procurando tener un calor homogéneo dentro del crisol y que se pueda efectuar la fundición, el proceso lleva un tiempo estimado promedio de 2h 20min (ver figura 10).

Figura 10. **Foto de crisol para fundición**



Fuente: Área de trabajo de taller mecánico.

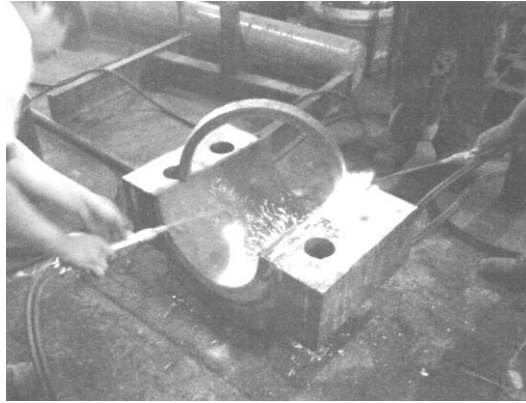
- Preparación de la bancada: Cuando se ve que la colada esta lista, los equipos de oxicorte (normalmente se usan 3) se dirigen a precalentar el interior del molde de la bancada que formará la chumacera, este procedimiento se hace para evitar micro burbujas que se generan por un choque térmico entre la colada y el metal de la bancada, también para aliviar tensiones producida por esfuerzos residuales y evitar fracturas prematuras del metal por tensiones superficiales de tracción<sup>9</sup> (ver figura 11).
- Vertido de colada de babbitt en bancada: Cuando la bancada está precalentada y la colada de babbitt está lista, se vierte dentro de la bancada uniformemente hasta que llene en su totalidad el molde (ver figura 12).

---

<sup>9</sup> SYDNEY H. Avner. Introducción a la Metalurgia. p. 370.



Figura 11. **Foto de preparación de bancada con molde**



Fuente: Área de trabajo de taller mecánico.

Figura 12. **Foto de vertido en bancada nueva con molde**



Fuente: Área de trabajo de taller mecánico.

- Maquinado de la chumacera: Después de vertido el babbitt y haber enfriado la pieza, se quita el molde y se lleva a una máquina herramienta para el maquinado de las dimensiones respectivas y detalles de lubricación (ver figura 13).

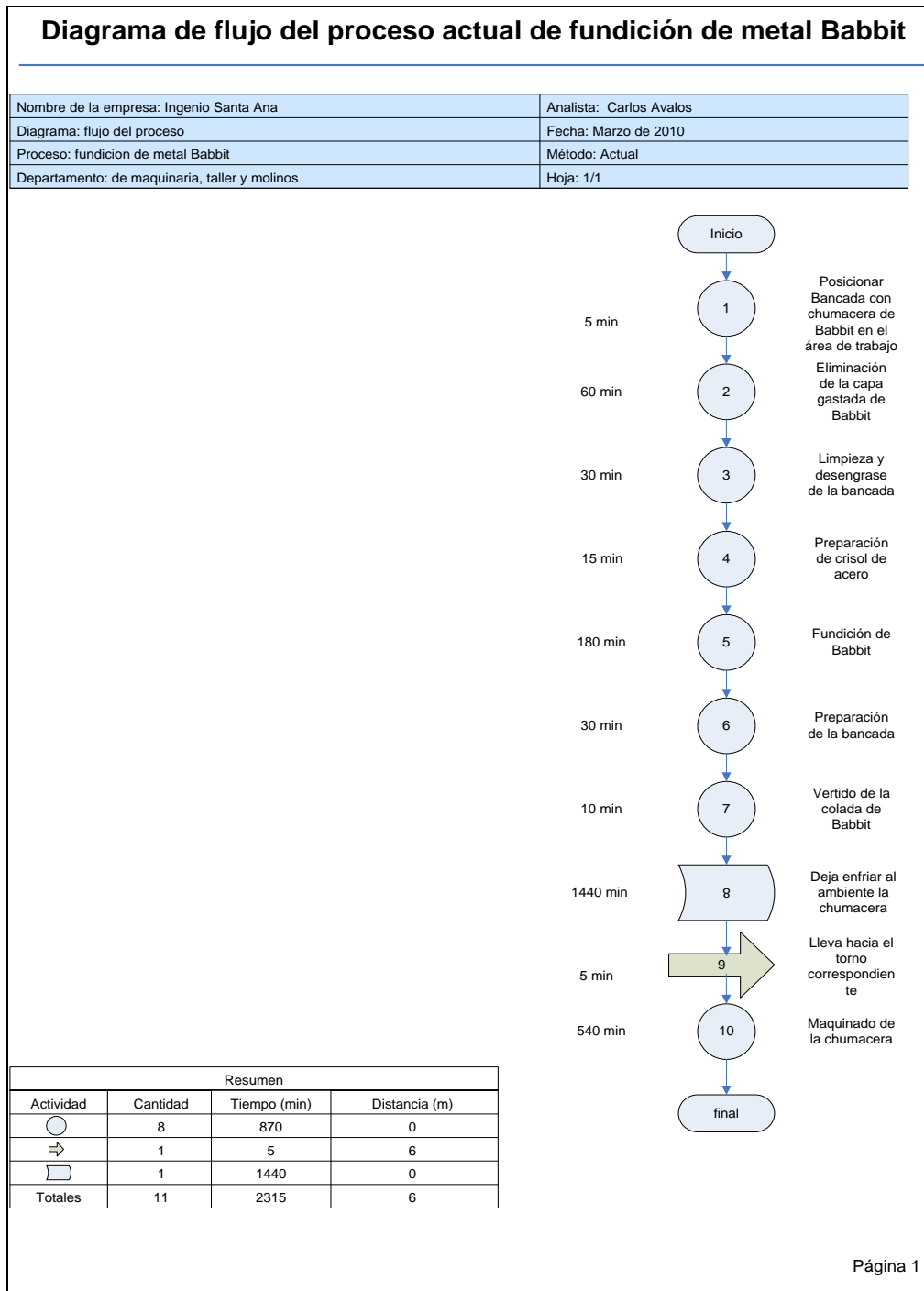
Figura 13. **Foto maquinado de chumacera**



Fuente: Área de trabajo de taller mecánico.

- Diagrama del proceso: El diagrama de flujo de proceso es realizado para analizar cuál es el tiempo empleado actualmente para fundir una chumacera en el taller mecánico basado en las observaciones y entrevistas con el personal, posteriormente se realizará otro diagrama de flujo del proceso con el horno diseñado para ver las ventajas de utilizar dicho horno. (Ver figura 14). El diagrama se realizó con base a las observaciones mencionadas de la página 18 a la 23.

Figura 14. Diagrama de flujo del proceso actual de fundición



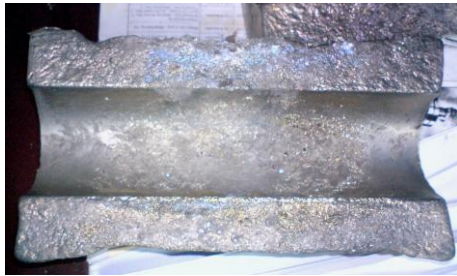
Fuente: elaboración propia.

- Información de costos en el proceso de fundición actual
- Efectos por paradas no programadas en molinos Tándem A y B: Una parada no programada dentro de los molinos tiene doble efecto negativo, esto se ve reflejado en el tiempo perdido de molinos y en las libras de azúcar que se han dejado de producir, en esta parte solo se hace mención de los aspectos negativos que puede causar una pieza mecánica dañada dentro de cualquier planta productora. Es donde se puede ver la importancia de un buen proceso de manufactura.
- Costos por el actual procedimiento: El gasto que mayor presencia tiene en el actual procedimiento es el del sistema oxiacetilénico debido a que pasa por alrededor de 4 h encendido, con esto el retrabajo, que es otro factor tomado por un mal proceso, es decir que cuando una pieza fundida como la que se observa en la figura 15, ésta debe de volver a la colada para que su consistencia sea la mejor y se pueda eliminar el error por el mal proceso (ver figura 15a y 15 b).
- Costo del sistema oxiacetilénico: Según la tabla de consumos de las boquillas multiflama Harris utilizadas comúnmente en el taller mecánico para calentamiento de metales refiere como se describe y se calcula:

El consumo de oxígeno promedio de la boquilla No. 2 patentada como J-63-2 para calentamiento de este tipo es de:

$$\text{consumo\_boquilla\_2\_Ox} = 1000 \frac{l}{h}$$

Figura 15. Foto de chumacera mal fundida



a)



b)

Fuente: Chumacera mal fundida en taller mecánico.

El consumo de Acetileno promedio de la boquilla No. 2, patentada como J-63-2 para calentamiento de este tipo es de

$$\text{consumo\_boquilla\_2\_Ac} = 900 \text{ l/h}$$

El equipo oxiacetilénico consta de dos tanques, el de Oxígeno con una capacidad de almacenar 6 226 litros a un costo promedio de Q. 240.00, el tanque de Acetileno, tiene una capacidad de almacenar 5 830 litros a un costo promedio de Q. 670.00, encontrando el consumo en función de quetzales por litro para la boquilla 2 para oxígeno y acetileno.

$$\text{costo\_Ox} = Q.240.00 / 6,226l$$

$$\text{costo\_Ox} = Q.0.038/l$$

$$\text{costo\_Ac} = Q.670.00 / 5,830l$$

$$\text{costo\_Ac} = Q.0.115/l$$

Obteniendo el consumo de quetzales por litros individualmente (Oxígeno y Acetileno), se encuentra el consumo en función de quetzales por hora.

$$\text{costo}_{\text{por hora Ox}} = Q.0.038/l * 1000l/h = Q.38/h$$

$$\text{costo}_{\text{por hora Ac}} = Q.0.115/l * 900l/h = Q.103.5/h$$

Quiere decir que por cada hora de consumo del oxiacetileno se esta teniendo un costo de:

$$\text{costo}_{\text{oxiacetileno hora}} = 38 + 103.5 = Q.141.5$$

El equipo pasa encendido por alrededor de 4 horas manipulando 4 boquillas No. 2 por 4 torneros, el costo total por fundición por uso del equipo oxiacetilénico es:

$$\text{costo}_{\text{por fundición}} = Q.141.5 * 4 * 4 = Q.2,264.00$$

- Costo del re-trabajo: En el re-trabajo de las chumaceras de babbitt es hacer de nuevo el proceso de fundición utilizando toda la energía y mano de obra de torneros que el proceso requiere, se describe y calcula de la siguiente manera para un tornero que participa en el proceso.

$$\text{salario}_{\text{día MO}} = Q.67.7$$

$$\text{salario}_{\text{día MO prestaciones}} = Q.118.48$$

Por una jornada de eficiencia pagada de 9 horas con prestaciones para un tornero.

$$\text{salario}_{\text{hora MO}} = Q.118.48/9 = Q.13.16$$

En este proceso participan en su totalidad 4 operarios,

$$\text{salario\_hora\_MO\_total} = Q.13.16 * 4 = Q.52.66$$

Costo de MO por los cuatro torneros en las 4 horas:

$$\text{salario\_total\_MO} = Q.52.66 * 4 = Q.210.64$$

Generándose el re-trabajo del proceso,

$$\text{salario\_de\_retrabajo} = \text{salario\_total\_MO} = Q.210.64$$

Por lo tanto el costo total por re-trabajo

$$\text{costo\_retrabajo} = Q.210.64 * 2 = Q.421.28$$

- Costo de oportunidad por recurso humano mal invertido: Se observó que por la colaboración de los operarios en la fundición se dejan pendientes trabajos que se estaban realizando, para dar un fundamento del costo que provoca que los operarios estén apoyando en el actual proceso de fundición, se hizo el siguiente cálculo, tomando en cuenta el salario hora de la mano de obra.

$$\text{costo\_hora\_MO} = Q.13.16$$

$$\text{costo\_de\_oportunidad} = Q.13.16 * 3op * 4hrs = Q.157.92$$

Este cálculo analiza el costo que significa que los operarios que colaboran en la fundición (generalmente son tres), más el soldador que es el encargado de realizar y dirigir el proceso de fundición, genera un costo de oportunidad para la empresa que se debe de absorber con horas extra las

piezas que dejaron pendientes o que se dejaron de hacer por colaborar con la fundición por el método actual.

En la tabla II se da el resumen de estos costos que son de oportunidad de mejora para el taller mecánico del Departamento de molinos.

Tabla II. **Costo de fundición actual**

<b>Fundicion de Babbit metodo actual</b>		
<b>descripcion</b>	<b>salario</b>	<b>prestaciones</b>
Salario tornero (día)	67.7	Q118.48
Total con prestaciones (día)		Q118.48
<b>Total con prestaciones (hr.)</b>		<b>Q13.16</b>
Salario 4 torneros (hr.)		Q52.66
Costo por fundicion de oxiacetileno		Q2,264.00 (+)
Costo en 4 hrs.		Q210.62 (+)
Costo de retrabajo		Q421.28 (+)
Costo de oportunidad 3 torneros en 4 hrs.		Q157.97 (+)
<b>Costo total M.O.</b>		<b>Q3,053.87</b>

Fuente: elaboración propia.

Las 4 horas se consideraron por concepto de, fundición de babbit, preparación de la bancada y vertido de la colada de babbit visto y analizado en el diagrama de flujo del proceso actual de fundición de metal babbit, que son las actividades donde participan los demás torneros, el costo del material babbit no va inmerso dentro del análisis porque es el mismo costo con el método propuesto.



### **2.1.1.2. Herramientas de ingeniería**

Por medio del diagrama causa-efecto y tormenta de ideas se determinará técnicamente el problema.

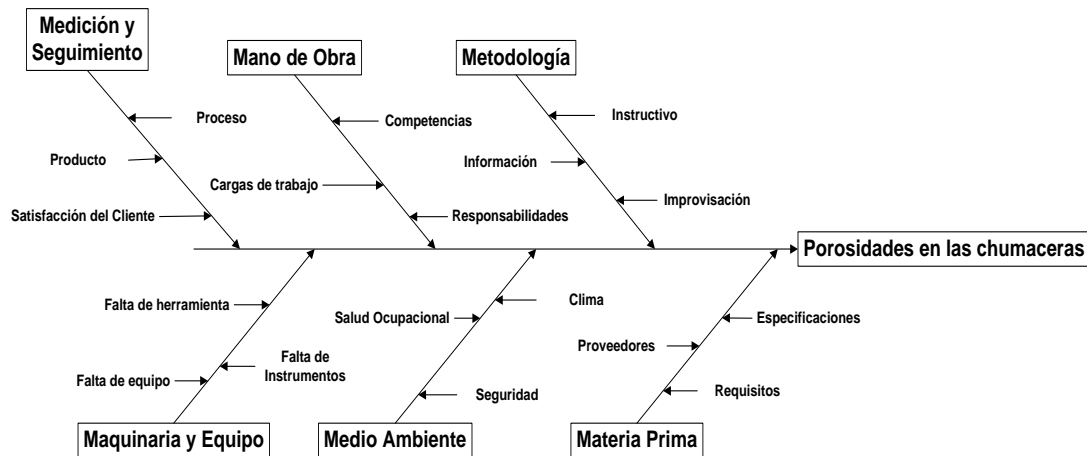
#### **2.1.1.2.1. Diagrama causa-efecto**

Llevándose a cabo un análisis en el Departamento de molinos y taller mecánico de la División Industrial del Ingenio Santa Ana, formado por información adquirida por entrevistas, observación e investigación, se determinaron aspectos ramales que determinan el tronco de la causa de la práctica de manufactura actual y las propiedades mecánicas del metal antifricción babbit.

En los conceptos anteriormente mencionados en el apartado de herramientas de ingeniería, se mencionaron las ventajas que tendría el taller mecánico implementando un horno de fundición de babbit, se mejoraría la practica del proceso, obteniendo un equipo para mejorar las condiciones del metal y una oportunidad para reducir costos, para esquematizar todas las causas que llegan a una conclusión de la falta de dicho horno se realiza el siguiente diagrama, (ver figura 16).

El diagrama de Ishikawa evidencia la falta de un equipo para fundir babbit que es la causa más importante para la vida útil del metal debido a que con base al equipo se puede diseñar todo el proceso de fundición, procedimiento, instructivo, capacitación, etc. y disminuir los defectos en las chumaceras, junto a mejorar aspectos como capacitación, metodologías y una oportunidad para la reducción del costo de la fabricación de chumaceras.

Figura 16. Diagrama causa-efecto (Ishikawa)



Fuente: elaboración propia.

#### 2.1.1.2.2. Tormenta de ideas

Por medio de la metodología de tormenta de ideas y medio fotográfico del proceso, después de observar la oportunidad de mejora y entrevistas al personal del taller mecánico de la operación de fundición de chumaceras, se realizó una reunión con el jefe de mantenimiento mecánico y jefe de operaciones de molinos para hacerles saber la debilidad del proceso de fundición, en el cual, con un análisis de beneficio de costos hacia la empresa, la técnica del personal y del nivel crítico que tienen las chumaceras durante la operación se formularon las tres siguientes opciones para mejorar la práctica de la fabricación de las chumaceras:

- Hacer por medio de subcontrato las chumaceras
- Continuar con el actual procedimiento
- Diseñar un horno para las necesidades del departamento

- Hacer por medio de subcontrato las chumaceras
- Contratar a una empresa para hacer el trabajo de la fundición con babbit de las chumaceras tiene un costo elevado por:
  - El manejo de la pieza
  - El flete de la pieza
  - Los honorarios que la empresa factura
  - El tiempo de realizar la logística de la pieza

Factores que hacen del trabajo de fundición un costo muy elevado por medio de un taller externo teniendo en cuenta que la División Industrial por catalogarse de tener uno de los mejores mantenimientos correctivos no se considere tener su propio equipo para realizar este trabajo y que al mismo tiempo reduzca su costo por fundición dentro del taller.

- Continuar con el actual procedimiento: Continuar con el actual procedimiento es una opción pero no se ponen en práctica los conocimientos adquiridos de la Ingeniería Mecánica y especialmente en el área de metalurgia en el diseño de hornos, por otro lado no se estaría aportando técnicas y soluciones a un problema establecido como los costos actuales y la mejora en las prácticas de manufactura.
- Diseñar un horno para las necesidades del departamento: En la fase técnico profesional, se pudo observar la problemática que se tiene por no tener un horno, hace de ella una oportunidad de mejora en la técnica del proceso de fundición de un metal pesado como el babbit dentro del taller mecánico, de todos los recursos y áreas de trabajo y mejora las

propiedades del metal en operación porque su fundición estará realizándose en condiciones controladas.

Esta idea genera el uso del diseño de trabajo de banco, con procesos de manufactura que llenan características para el desarrollo de un horno metalúrgico de fundición de metales pesados como es el caso del babbitt.

La idea como tal es la que llena las expectativas de un ahorro en la mano de obra y recurso humano, mejoras en el proceso de fundición y en las prácticas de manufactura del personal operativo y evita el costo de oportunidad.

### **2.1.1.3. Riesgos en el trabajo**

El análisis de riesgos en las tareas de fundición de babbitt es muy importante porque no se debe esperar que pase un accidente o un cuasi-accidente para tomar medidas de precaución. Cuando se habla de análisis de riesgo se debe tomar en cuenta todos los factores que puedan afectar la seguridad del trabajador (actos inseguros y condiciones inseguras). Bajo las observaciones del proceso que describe cada etapa y las condiciones y actitudes actuales se realizó la inspección de riesgos que identifica todos los factores que puedan afectar la seguridad del trabajador y crea una oportunidad de mejora conjuntamente con el diseño del horno.

#### **2.1.1.3.1. Condiciones inseguras en la fundición**

Dentro de cualquier labor industrial siempre existen las condiciones inseguras del lugar de trabajo, para este procedimiento de fundición de chumaceras de babbitt dentro del taller mecánico, se realizó una inspección de

condiciones y los factores al momento que se efectuaba la fundición, la evaluación del área de trabajo dará un resultado científico para poder hacer la propuesta de mejora de la seguridad de fundición ya que al reducir los riesgos se reduce las condiciones inseguras, los resultados de la inspección se dan en la tabla III.

Tabla III. **Evaluación del área de trabajo**

<b>PONDERACIÓN</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Malo	Vestimenta adecuada para la fundición de babbit.
Muy malo	Mascarilla para prevenir la inhalación de gases de plomo por excedente de temperatura.
Muy malo	Bases metálicas de apoyo al crisol.
Muy malo	Guantes apropiados para la tarea de fundición.
Regular	Área de trabajo idealmente para la tarea de fundición.

Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.1.3.2. Actos inseguros en la fundición**

Para esta etapa del análisis de riesgos del trabajador conforme avanzaba el proceso de fundición de babbit se notaron distintas actitudes del personal, las cuales se pueden enlistar las siguientes:

- Pérdida de concentración: Ocurre cuando las personas que están colaborando en la fundición de la colada del babbit pierden la atención sobre lo que están haciendo y provocan el derrame accidental de la colada, quemando a uno o varios de sus compañeros.

- Agotamiento por calor cedente: Cuando una persona está en una posición no ergonómica y expuesta a un calor cedente ésta pierde fácilmente la concentración por motivo de agotamiento y posteriormente el sistema conformado por el crisol, sus agarradores y la colada pueden estar meciéndose de un lugar a otro el cual puede provocar un incidente, esta situación se pudo notar al momento de ser efectuada la fundición en las condiciones actuales, el cual tubo que turnarse un operador el agarrador para que otro lo apoyara en el agarre.
- Actitud inapropiada: Ésta es una actitud negativa propia de la persona que está colaborando con la colada, cuando el encargado de hacer la fundición solicita a varios de sus compañeros que ayuden en el sostenimiento del crisol, la mayoría pueden estar dispuestos en ese momento pero cabe la probabilidad que uno de sus compañeros no lo esté y pueda causar discordancias que afecte a todo el grupo, prosiguiendo después la tardanza de la colada o un accidente por llamar la atención del grupo.
- Agente del accidente: El hecho de estar trabajando con un equipo que requiere de mucha energía calórica es causa probable de un accidente, se debe mantener un conocimiento firme del trabajo que se esta haciendo y como debe realizarse, para dirigir al grupo de colaboradores que está en la maniobra.

#### **2.1.1.4. Personal de operación**

Para las condiciones de las cuatro personas que están inmersas en el proceso actual de fundición es causa de problemas en la salud ocupacional y humano por uno de los compuestos que tiene la aleación del babbitt (el plomo), según esta condición actual ocurre que cuando la temperatura de la fundición

es mayor a la requerida, el plomo pasa a su fase gaseosa y estos vapores pueden ser absorbidos por la piel o por la respiración, llegar a la sangre y tener distintos tipos de problemas como dolores de cabeza, la sensación constante de vértigo, los problemas de psicosis, ciertos delirios de grandeza e incluso inconvenientes a la hora de dormir o episodios de insomnio.

## **2.2. Diseño del horno de fundición de babbitt para chumaceras del Tándem “A” y Tándem “B”**

El diseño del horno consta de la propuesta basado en la naturaleza de un horno para fundición considerando las dimensiones que se deben considerar, los aspectos energéticos y económicos para luego esbozar un diseño.

### **2.2.1. Propuesta**

El horno de crisol es un equipo utilizado principalmente para la fusión de metales no ferrosos. En este equipo el metal a ser fundido se encuentra en el interior de un crisol fabricado de grafito, carburo de silicio idealmente o de acero al carbono aleado para evitar deformaciones o fracturas prematuras por un golpe, a la vez, se disminuirá el riesgo de un problema de segregación al babbitt<sup>10</sup>.

El crisol se posiciona en el interior de la cámara de combustión cilíndrica (hogar del horno), que a su vez está formada internamente por un revestimiento refractario y externamente por una carcasa de chapa de acero o lámina de acero, El revestimiento refractario que está dentro del hogar del horno normalmente se confecciona a partir de ladrillos especiales o concreto refractario y posee la finalidad de resistir elevadas temperaturas existentes en el

---

<sup>10</sup> Información adquirida por el Ing. Roberto Aguilar. ingeniero mecánico y metalurgista.

interior de la cámara de combustión, mientras que la carcasa tiene la finalidad de sustentar todo el conjunto. El interior de la cámara de combustión debe ser perfectamente cilíndrico para permitir la distribución uniforme del calor<sup>11</sup>. El tipo de horno usado para un proceso de fundición queda determinado por los siguientes factores:

- La necesidad de fundir la aleación tan rápidamente como sea posible y elevarla a temperatura de vaciado requerida.
- La necesidad de mantener tanto la pureza de la carga, como precisión de su composición.
- La producción requerida del horno
- El costo de operación del horno

Para este tipo de proceso en metal es útil un horno de fundición que tiene las características anteriores y las de guardar y ceder calor por radiación, convección y conducción a crisoles diseñados para fundir metales.

Los hornos se definen en dos tipos según su operación:

- Hornos de operación continua
- Hornos de operación batch

Se diseña un horno de operación batch por la funcionalidad y versatilidad que se le pretende dar dentro de las instalaciones, que tiene determinadas características según su tipo.

---

<sup>11</sup> ORDOÑEZ, Stella. Técnicas experimentales en metalurgia. p. 36.



### **2.2.1.1. Horno de crisol móvil u operación batch**

En estos hornos se funde el metal, sin entrar en contacto directo con los gases de combustión y por esta razón se llaman algunas veces hornos calentados indirectamente reduciendo la contaminación.

Este crisol se coloca en el horno que usa aceite, gas, carbón pulverizado u oxiacetileno para fundir la carga metálica, cuando el metal se funde, el crisol se levanta del horno y se usa como cuchara de colada.

El crisol se posiciona en el centro de la cámara de combustión y se apoya sobre un pedestal de forma cilíndrica metálico, también confeccionado a partir de material refractario y chapa de acero. En la parte interna hasta abajo, es necesario poner una base de refractario para evitar posibles deformaciones del crisol por estar sostenido únicamente sobre la base cilíndrica<sup>12</sup>. Sobre el horno existe una tapa para evitar las pérdidas de calor e impedir la salida libre de la llama.

### **2.2.1.2. Naturaleza del horno**

Anteriormente se menciona un horno de crisol móvil para hacerlo mas versátil con la ayuda de la grúa viajera del taller mecánico, esto provoca que el operador no se involucre directamente a la alta temperatura que alcance el horno y pueda manipular con menor esfuerzo el volteo del crisol con la colada a verter en el molde él solo.

Dentro del diseño se toman en cuenta formas de optimizar los recursos que provocan el calentamiento por conducción, radiación y convección, esta

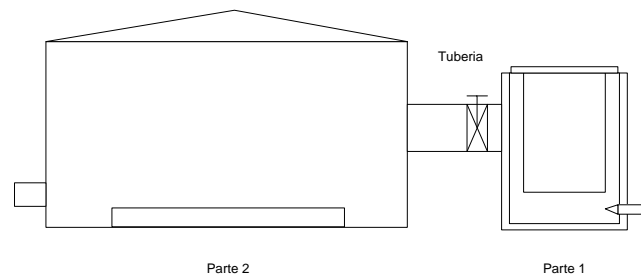
---

<sup>12</sup> Información adquirida por el Ing. Roberto Aguilar. ingeniero mecánico y metalurgista.

última es la que se manipula para el precalentamiento de la bancada al mismo tiempo que se esta fundiendo, para reducir el tiempo de fundición y precalentamiento.

- Componentes del horno: Formado por dos partes, una, que sitúa el crisol y éste recibe el calor por conducción directa de la flama del quemador, y la otra parte, comunicado por una tubería donde se sitúa la bancada lista para precalentarla por convección y verterle el babbit (ver figura 17).

Figura 17. **Composición del horno**



Fuente: elaboración propia

Dentro del hogar del horno (parte 1), el cilindro que es la base del crisol está cubierto con un espesor de concreto refractario para evitar la pérdida de calor por motivo de pérdidas de calor por transmisión, que dice, que todo el calor transferido a través de las paredes, techos, plafones, ventanas, metales, sensible a la transferencia de calor sufre este fenómeno<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> FAYE MCQUINSTON, C. Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño. p. 194.

En el precalentador (parte 2), recibe la temperatura dentro del hogar por los gases que llegan de la combustión del quemador por medio de la tubería que se muestra en la figura anterior, estos gases que son residuos de dicha combustión aportan gran cantidad de energía calorífica en su flujo de salida hacia la atmósfera y para aprovecharlos en la necesidad de precalentar la chumacera por convección, se ven desviados por medio de la tubería para que ingresen en el hogar del precalentador y puedan abrazar a la chumacera antes de abandonar el equipo y poder incrementar y mantener la temperatura.

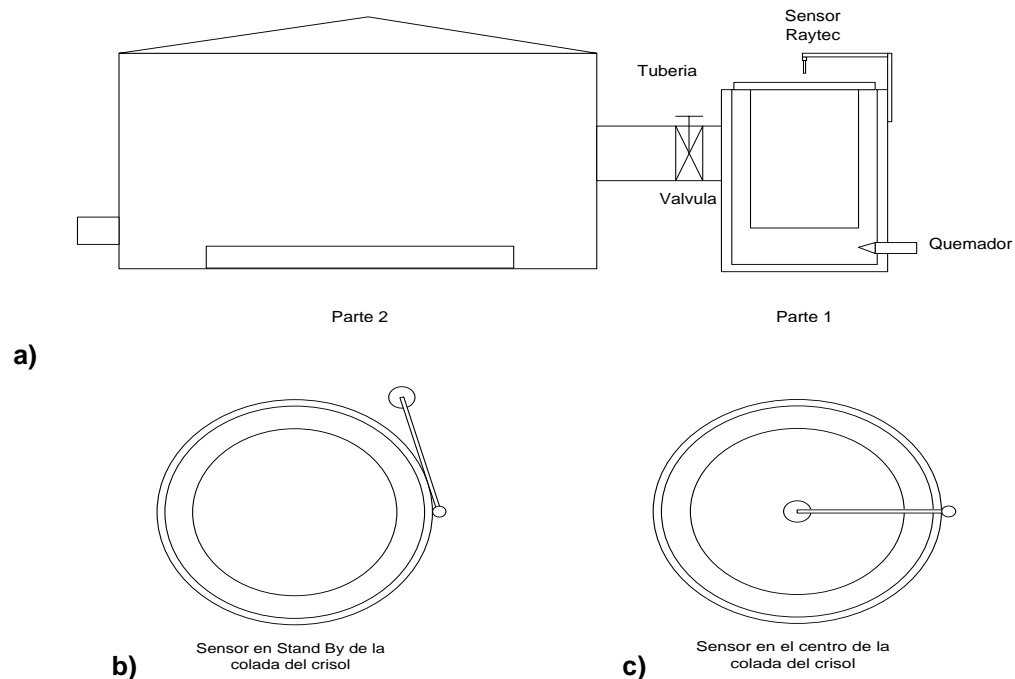
El quemador debe de direccionar la flama al crisol de una forma tangencial con cierto ángulo hacia arriba del crisol, con esto se evita que la flama choque directamente a un punto del crisol y debilitar esa parte del mismo por la alta temperatura.

Una válvula hará que la temperatura del hogar del horno quede allí o se pueda hacer el cambio de paso hacia el precalentador.

- Medición de la temperatura: Para el control de la temperatura, el diseño del horno tiene incorporado un sistema de medición infrarrojo de temperatura que indica por medio de un display la temperatura actual, que esta situado en la parte superior del horno viendo hacia el interior del crisol (ver figuras 18a, 18b y 18c).

Como se ve en las figuras 18a, 18b y 18c se puede mover de la forma Stand By hacia la forma de medición con solo mover una pieza giratoria metálica.

Figura 18. **Ubicación del sensor de medición de temperatura**



Fuente: elaboración propia.

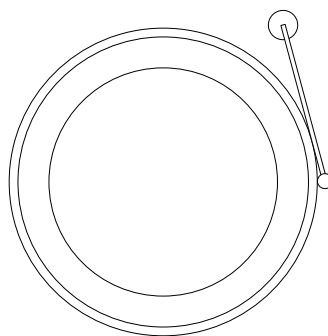
Para dichas características del horno se investigó que tipo de medidores de campo existen en el mercado que soporten las temperaturas que se manejarán en el equipo, se logró encontrar el dispositivo infrarrojo libre de contacto que se menciona anteriormente marca Raytec el cual funciona de la siguiente forma:

- **Funcionamiento del sensor:** El funcionamiento del sensor es básicamente enviar una señal de medición hacia el objeto o producto que se vaya a analizar la temperatura, esta señal es devuelta al sensor para convertirla en señal de temperatura.

La salida de este sensor contiene una termocupla que soporta una temperatura por radiación de hasta 600° C que va de manera fija en la base del crisol para direccionar el infrarrojo en la parte interna del crisol, (ver figura 19), esta decisión es tomada por la opción que da el fabricante de decidir donde colocar, pero con la salvedad de instalarla en un lugar de poca interferencia electromagnética.

Otra de las observaciones que hace el fabricante, es la toma de la muestra en función de su ángulo de proyección. Como señala la figura 20, el ángulo de proyección debe tocar ampliamente el objeto a analizar para que sea confiable la lectura<sup>14</sup>, esto da cierta limitante en el diseño del horno debido a que la termocupla, que debe colocarse al medio del crisol pero siempre fija en la base del crisol, queriendo decir así que, cuando el encargado de fundir desee saber la temperatura de la colada debe tomar y girar la termocupla al medio del crisol como se menciona anteriormente en la medición de la temperatura.

Figura 19. **Sensor de medición de temperatura Stand By**



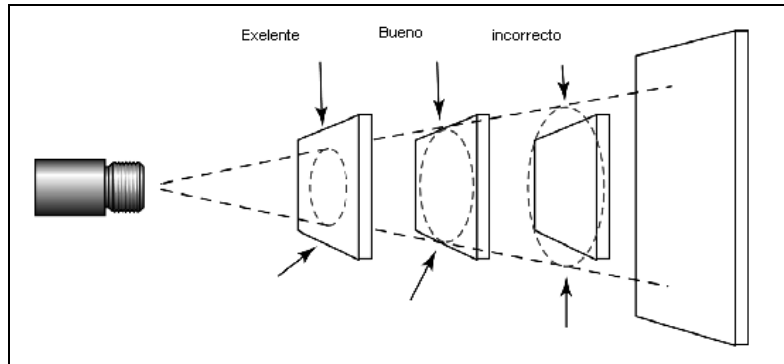
Sensor en Stand By de la colada del crisol

Fuente: elaboración propia.

---

<sup>14</sup> Manual de usuario y características técnicas. Raytec a fluye company. p. 24.

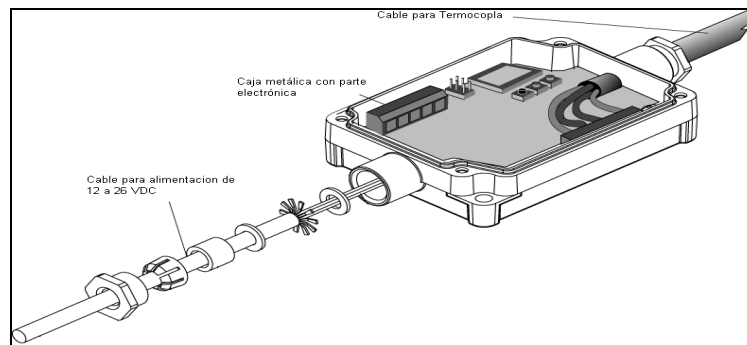
Figura 20. **Ángulos de medición de temperatura**



Fuente: Manual de usuario y características técnicas Raytec. p. 20.

Contiene una caja metálica (ver figura 21) donde está la parte electrónica del sensor que estará afuera del alcance del calor para protegerla, porque debe estar a una temperatura no mayor de 65° C, esto es posible por la distancia que tiene el cable que conecta la termocupla y la caja electrónica del sensor, tomando en cuenta que el cable soporta una temperatura de 180° C en contacto directo con una flama.

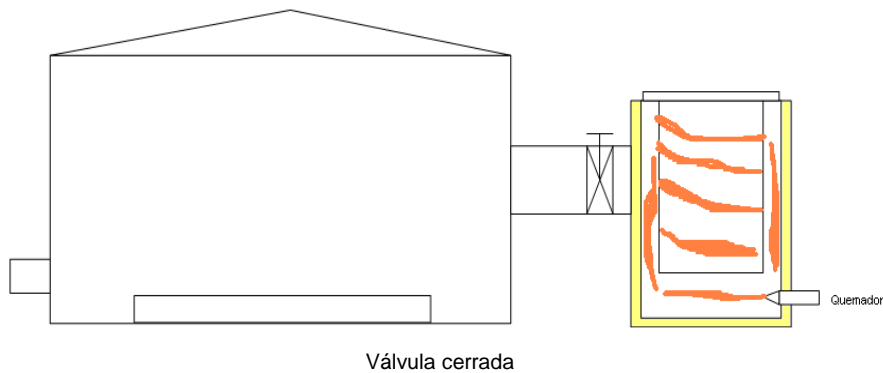
Figura 21. **Caja electrónica del sensor de temperatura**



Fuente: Manual de usuario y características técnicas Raytec, p. 22.

- ¿Cuál es su forma de calentamiento?: La forma de calentamiento es por medio de un quemador de oxiacetileno que dará las propiedades caloríficas para ceder el calor al crisol. Más adelante se describirán las características del quemador pág. 46.
- Funcionamiento: El horno tiene por diseño tres formas de operar, las cuales se deciden en la operación, quiere decir, que cuando el horno este en determinada temperatura se podrá trasladar calor hacia la otra parte del horno para aprovecharla en el precalentamiento de la bancada, abriendo una válvula que esta en el tubo de conexión (ver figura 22 y 23).

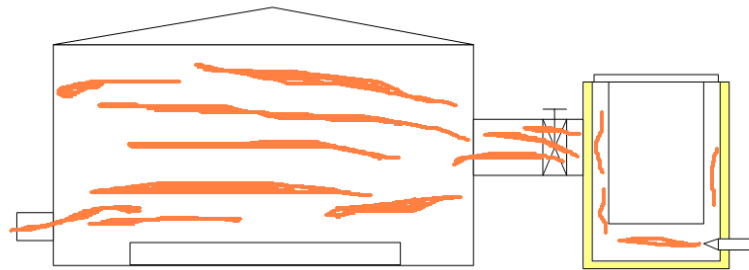
Figura 22. **Hogar del horno con válvula cerrada**



Fuente: elaboración propia.

Tener una forma combinada si desde un principio se quiere empezar con el proceso de precalentado de la bancada (ver figura 24).

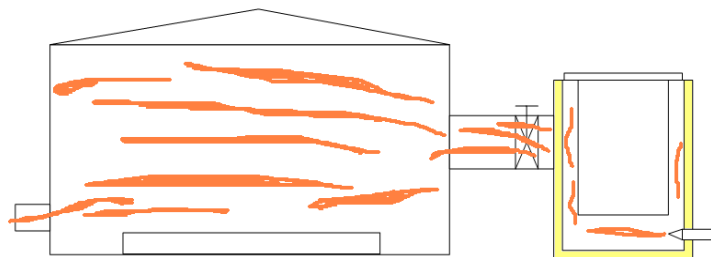
Figura 23. **Hogar del horno con válvula abierta**



Válvula abierta

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Combinación del proceso con válvula**



Horno con temperatura combinada

Fuente: elaboración propia.

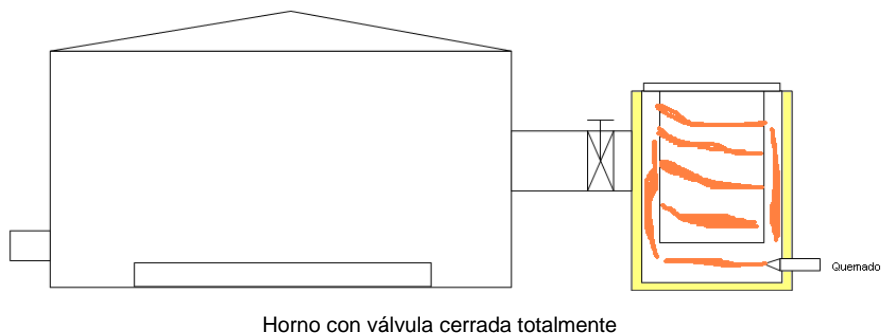
Con esta configuración combinada se consigue según como se tenga abierta la válvula un aprovechamiento del calor en ambas partes desde el arranque del horno.

La tercera forma consiste en mantener totalmente cerrada la válvula para que se dé únicamente la fundición del metal dentro del crisol. Esto se logra por el diseño conformado por dos partes para aprovechar el calor (ver figura 25).



Para los gases que necesitan escapar a la atmósfera es necesario tener un escape del hogar del horno y el crisol, para ello va conformado un diseño de agujeros circulares en la circunferencia de ambos, en la base del crisol y en la base del hogar que sostiene el crisol, así se puede decir que, para la forma de operar con la válvula cerrada se puede dar movimiento circular al crisol y coincidir los agujeros de la base del crisol con los agujeros de la base del hogar del horno para que escapen los gases, aunado a ello se puede dar cierta graduación a este movimiento circular para forzar a los gases que salgan de manera rápida o lenta como se explica en la figura 26.

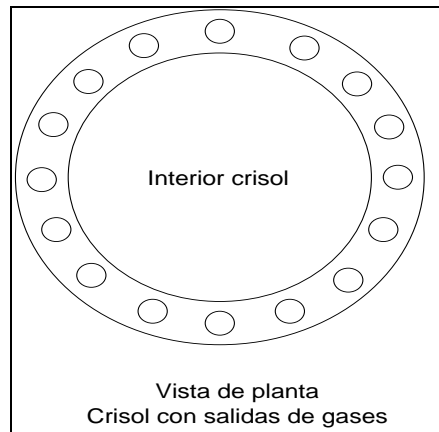
Figura 25. **Hogar del horno sin abrir válvula de escape**



Fuente: elaboración propia.

Este horno funcionará con oxiacetileno por medio de un quemador multiflama interno en el hogar del horno, tiene su regulador de acetileno y oxígeno que es el encargado de dar la mezcla a la llama, el quemador es el utilizado actualmente, este combustible es el que se utilizará porque es el más común y el de menor costo dentro del taller mecánico (ver figura 27).

Figura 26. **Salida de gases en base de crisol y hogar del horno**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Quemador de oxiacetileno**



Fuente: Catalogo virtual Harris

En la figura se muestra la boquilla No. 2 J-63-2 patente Harris (ver figura 28) del quemador o multiflama que proporciona el mismo caudal de gas acetileno que el actual para fines de mantener el mismo consumo en combustión para el calentamiento del crisol.

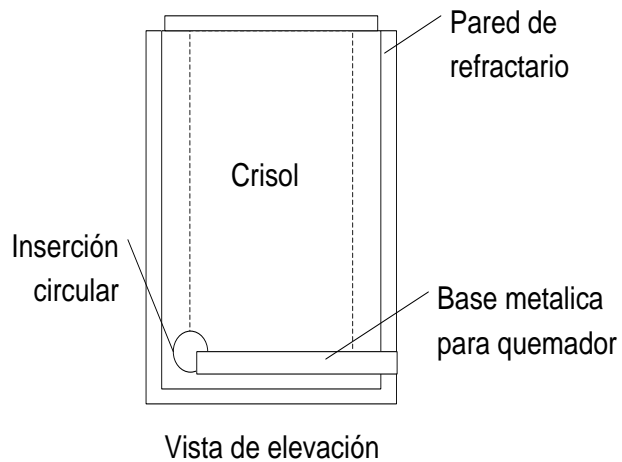
Figura 28. **Boquillas para quemador para oxiacetileno**



Fuente: Catalogo virtual Harris, accesorios de oxicorte.

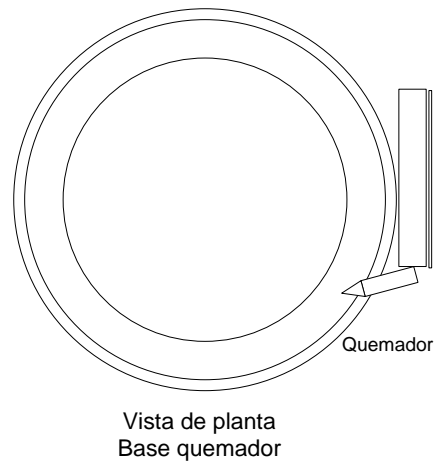
Para su colocación en el hogar del horno, tendrá estratégicamente una base metálica externa para asegurarlo durante la operación, con una inserción circular, y aprovechando el ángulo de  $130^\circ$  en la punta del quemador como se ve en la figura 29, ésto para que la llama dentro del hogar tenga la dirección sugerida para el eficiente calentamiento del crisol ver figuras 29 y 30.

Figura 29. **Vista de elevación del quemador en el horno**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Vista de planta del quemador en el horno**



Fuente: elaboración propia.

### 2.2.1.3. **Material para construcción**

Los materiales que se utilizarán para la construcción del horno de fundición de babbitt serán los siguientes descritos en la tabla IV.

Tabla IV. **Materiales de construcción del horno**

No.	Nombre parte	Material
1	Crisol	lamina acero al carbon 3/16
2	Hogar horno	lamina acero al carbon 3/16
3	Tubo conexión	tubo 6'' cedula 40
4	Pre calentador	lamina acero al carbon 3/16
5	Tapadera pre calentador	lamina acero al carbon 3/16
6	Tapadera horno	lamina acero al carbon 3/16
7	Fondo crisol	lamina acero al carbon 3/16
8	Fondo horno	lamina acero al carbon 3/16
9	Fondo pre calentador	lamina acero al carbon 3/16
10	Base quemador	angular 2 * 3/16
11	Base crisol	tubo 6'' cedula 40
12	Agarrador de refractario	varilla corrugada de 1/4''

Fuente: elaboración propia.

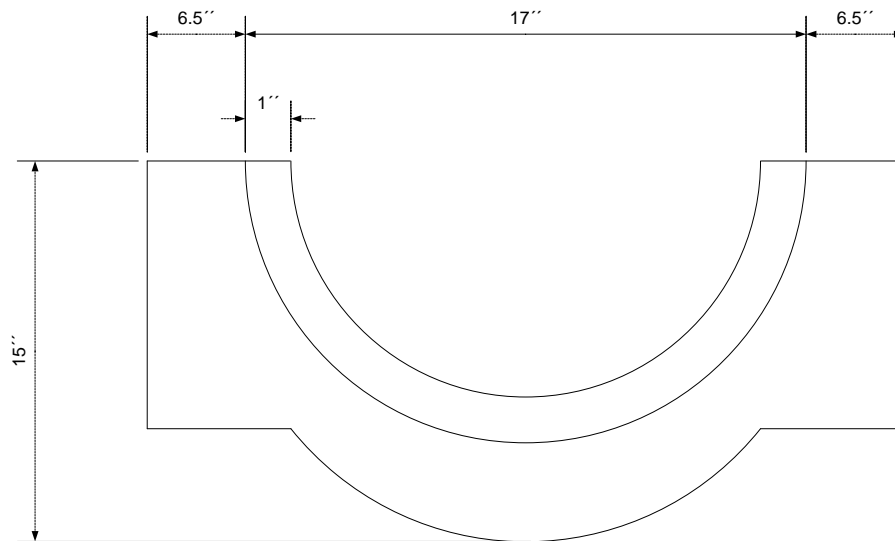
#### 2.2.1.4. Dimensiones

Dentro del tema de dimensiones, se consideran las siguientes:

- Volumen óptimo del crisol: Se considera la colada máxima que debe fundir el horno, una colada de fundición de babbit para una chumacera de eje de transmisión de potencia de baja, posteriormente se especificarán los detalles de la chumacera, masa que tiene que tener y el volumen que ocupa dicha masa.
- Espacio físico del precalentador: El espacio físico del precalentador esta en función de las dimensiones de la chumacera con la bancada mas grande que puede llegar a depositar la colada, que en el punto 2.2.1.4.1. se aprecia el detalle, en este caso es la misma chumacera de eje de transmisión de potencia de baja.
- Espacio físico del horno: Más adelante se analiza la diferencia de radios óptima que debe de tener la pared del refractario del crisol, por aspectos energéticos, por lo tanto se analiza primero la capacidad o el volumen máximo de colada de babbit dentro del crisol, optimizar el crisol, luego, encontrar el radio de la pared de refractario y por último y dado un espesor adecuado con refractario hacer el radio de la pared de lámina que soportará el refractario, estas son las bases para realizar de manera adecuada el diseño de la capacidad.
- Capacidad del crisol: Originalmente el espesor de la pared de la chumacera nueva es de 1'' (ver figura 31), por un diámetro interior de 15'' aproximadamente, este dato varía según el trabajo de torno que se

le efectúa para las necesidades de rectificación del eje, por un largo de 17'', por lo que por medio de una diferencia de volúmenes, se obtiene:

Figura 31. Dimensiones de una bancada con chumacera de babbit



Fuente: elaboración propia.

El volumen cilindro 1, es volumen que ocupa el eje de la transmisión más la pared del cojinete antifricción babbit, expresado de la siguiente manera.

$$VOL_{cil1} = A * L$$

$$VOL_{cil1} = \pi * r^2 * L$$

$$VOL_{cil1} = \pi * (8.5)^2 * 17 = 3858.66 \text{ plg}^3$$

El volumen cilindro 2, es el volumen que ocupa el eje de la transmisión, expresado de la siguiente manera.

$$VOLcil2 = A * L$$

$$VOLcil2 = \pi * r^2 * L$$

$$VOLcil2 = \pi * 7.5^2 * 17 = 3004.15 \text{ plg}^3$$

El volumen de la pared del cojinete antifricción babbit es la resta de los dos volúmenes encontrados, tomando en cuenta que luego hay que dividirlo dentro de 2 para encontrar la pared que va colocada en la bancada, expresado de la siguiente manera.

$$VOLpared\_cojinete = (VOLcil1 - VOLcil2) / 2$$

$$VOLpared\_cojinete = ((3858.66 - 3004.15) [\text{plg}^3]) / 2$$

$$VOLpared\_cojinete = (854.51 \text{ plg}^3) / 2$$

$$VOLpared\_cojinete = 427.26 \text{ plg}^3$$

Posterior a estos cálculos de donde se obtiene el volumen óptimo para el crisol, se debe tomar en cuenta que cantidad de babbit es el necesario para este volumen determinado, para realizar este cálculo es necesario saber cual es la densidad del babbit para alta carga de grado 3 de aleación de estaño, el dato es .26lbm/plg<sup>3</sup><sup>15</sup>, el cual se expresa de la siguiente manera.

$$\text{densidad}(\rho) = m / vol$$

$$\rho_{Babbit} = .26 \text{ lbm} / \text{plg}^3$$

Por lo tanto, para 427.26plg<sup>3</sup> cuanta masa es:

$$m = \rho_{Babbit} * VOLpared\_cojinete$$

$$m = (.26 \text{ lbm} / \text{plg}^3) * 427.26 \text{ plg}^3$$

$$m \approx 111 \text{ lb}$$

---

<sup>15</sup> HAMROCK, B. J. y JACOBSON. B. SCHMID, S.R. Elementos de Máquinas, McGraw Hill 2000. 275 p.

Se obtuvo idealmente 427.26plg<sup>3</sup> y 111lb de babbit para hacer una colada máxima en este tipo de horno.

Con estos cálculos efectuados se comprende la capacidad del volumen y masa que el crisol debe soportar, y generar desde aquí la idea del hogar del horno, tomando en cuenta estos cálculos se ve la siguiente observación en la parte de optimizar el crisol.

- Optimizar el crisol: Por medio de la fase experimental de la diferencia de radios entre el hogar del horno y el crisol, da libertad de decidir qué diámetro escoger para el crisol tomando en cuenta que no tiene que ser muy grande en su diámetro por la dificultad de llegar con calor al centro de la colada y como también se tiene que tener un volumen máximo de 427.26 plg<sup>3</sup> se pueden deducir las dimensiones del crisol.

$$Vol\ max = 427.26\ plg^3$$

Se estima un diámetro de 8plg, y una altura de 12plg, se calcula como sigue:

$$Volcrisol = (d / 2)^2 * \pi * L$$

$$Volcrisol = (8 / 2)^2 * \pi * 12$$

$$Volcrisol = 603.18\ plg^3$$

- Pared de refractario: Particularmente en los hogares de las calderas del ingenio tienen un espesor promedio de 2plg cada ladrillo refractario que forma la pared, para este hogar se tomará la practica de un espesor de 2plg en el refractario, por la experiencia que se tiene de su durabilidad, una de las propiedades del refractario es su fragilidad, si el refractario fuera colocado como un gran molde dentro del hogar, tendería a su

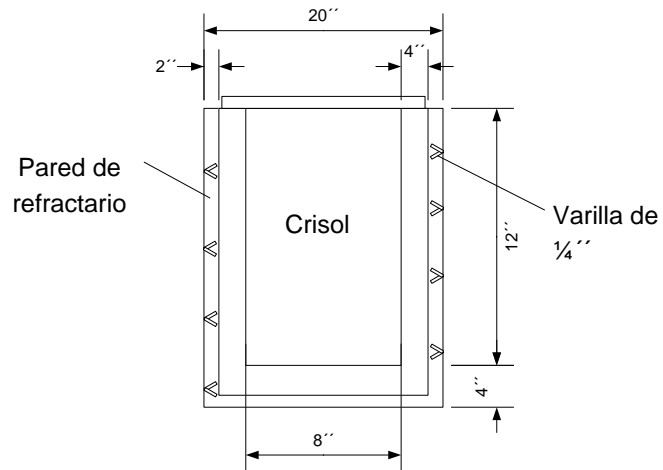


fractura en poco tiempo, para ello se deben colocar trozos soldados de varilla de  $\frac{1}{4}$ " de no mas de  $1 \frac{1}{2}$ " de largo, corrugada, soldados a la pared de la lámina del lado interno para sujetar el refractario y disminuir las probabilidades de fractura.

Una actividad importante al momento de instalar las varillas, es, la colocación de un polímero (Nylon) de forma enrollada en los trozos de varilla para evitar que cuando el refractario y la varilla estén con alta temperatura y se tenga que dilatar no haya ningún choque entre ellos y exista una luz que permita esa holgura que dejara que el refractario se expanda. Para muestra de ello se ve en la figura, (ver figura 32) incluidos los datos obtenidos de la optimización del hogar del horno y del crisol.

- Radio de la pared de lámina del hogar: En función de las medidas anteriormente calculadas por optimización del crisol, pared del refractario y longitudes tomadas a criterio para formar el hogar del horno se obtiene el radio interno de la pared de la lámina que soportara el refractario y a sí mismo. Este radio es de  $10$ " y se estima que se puede utilizar una lámina de  $\frac{3}{16}$ " de grosor para su construcción, medidas, cotas y detalles se proporcionan más adelante en el informe.

Figura 32. Pared de refractario

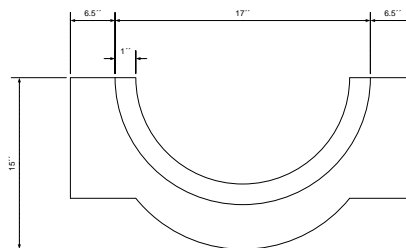


Fuente: elaboración propia.

#### 2.2.1.4.1. Chumaceras

Una chumacera con bancada por su naturaleza tiene las siguientes dimensiones para considerarlas dentro de las medidas del precalentador del equipo:

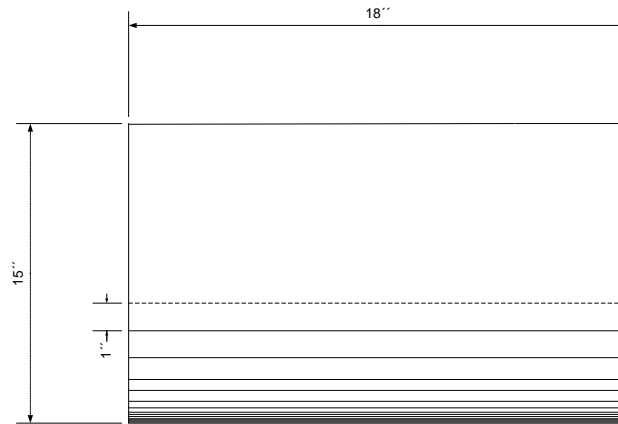
Figura 33. Elevación frontal de una bancada con chumacera de babbit



Elevación frontal.

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Elevación lateral de una bancada con chumacera de babbit**



Elevación lateral.

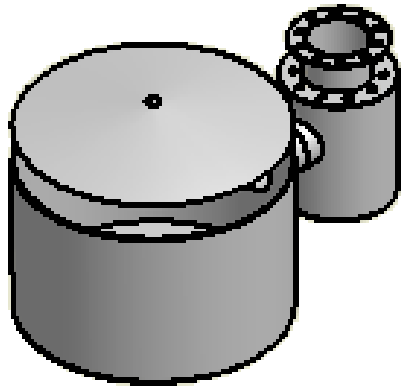
Fuente: elaboración propia.

Por lo que estas dimensiones sirven para hacer la capacidad máxima que puede tener el precalentador, el cual consta de una lámina de acero al carbono de un espesor de  $3/16''$  rodada a un diámetro de  $20''$  que indica una luz entre la bancada y la lámina de  $1''$ .

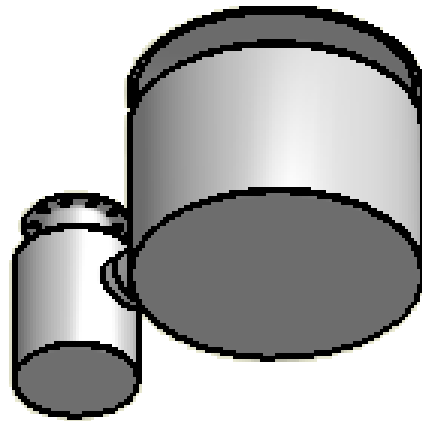
#### **2.2.1.4.2. Diseño gráfico**

Utilizando el software Autodesk Inventor Professional 2008 se practicó un boceto en 3D para observar cómo será su apariencia física, y poder dar una idea mas clara de su aspecto antes de su construcción, en esta práctica se pueden dar las dimensiones del horno y poder modificar tanto sus dimensiones como su apariencia, (ver figura 35).

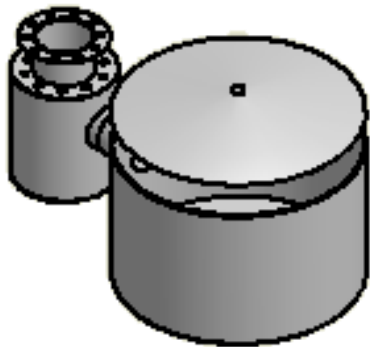
Figura 35. **Boceto en tres dimensiones del horno**



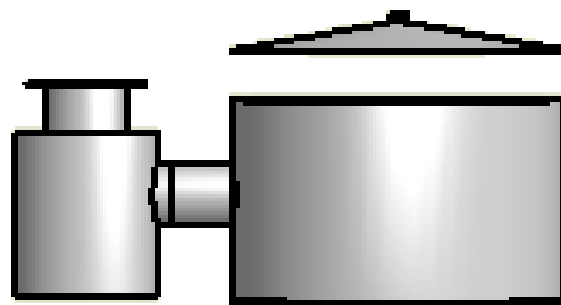
Isométrico frontal izquierdo



Isométrico lateral trasero



Isométrico lateral derecho



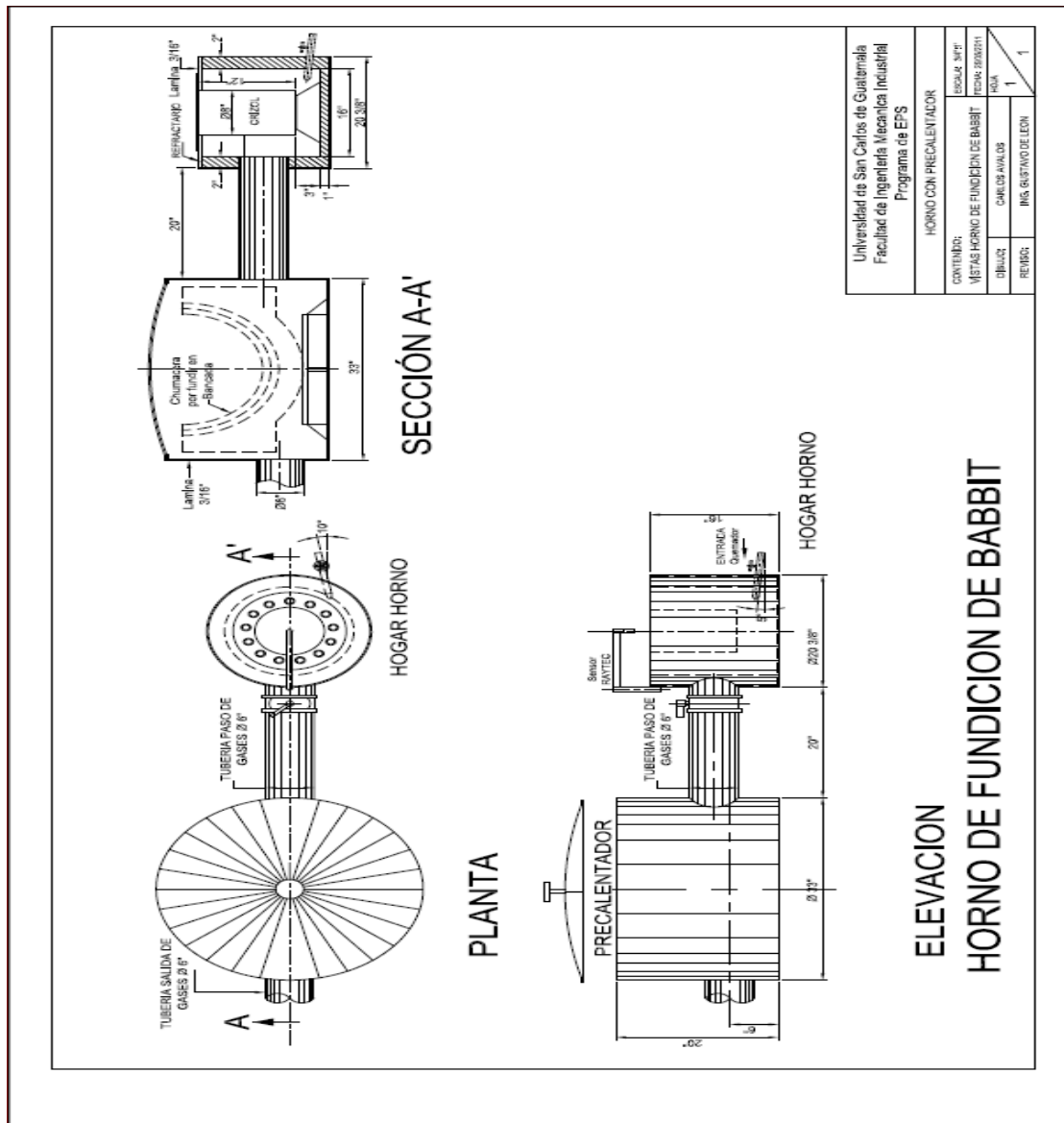
Elevación frontal

Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor 2008.

### 2.2.1.4.2.1. Plano

Para comprender la forma del tamaño del horno y que tenga los aspectos técnicos para su construcción se presenta el siguiente plano, (ver Figura 36).

Figura 36. Plano de diferentes vistas



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad 2009.

### 2.2.1.5. Aspectos energéticos

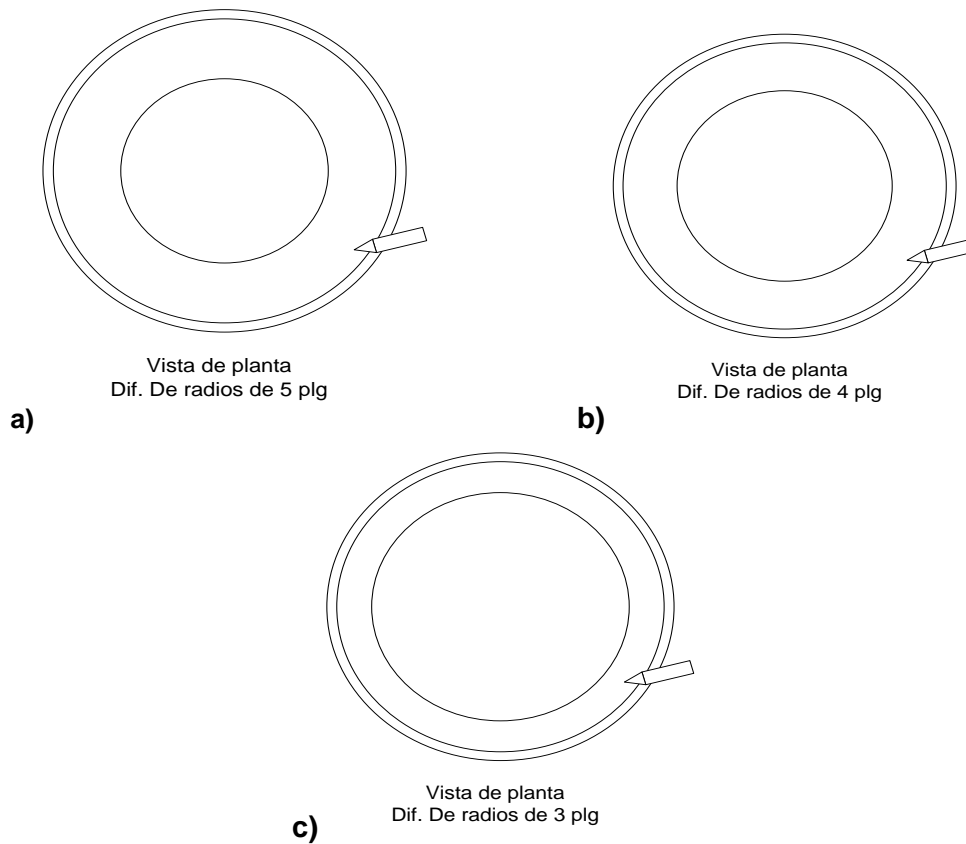
Para optimizar el recurso energético inflamable que da el poder calorífico para cubrir la mayor área y espacio posible del crisol, se practicó por el método experimental tres distintas formas de calentamiento. Consta de practicar con tres cilindros o tres hornos con su crisol pero sin el precalentador, la distancia o la diferencia de sus radios óptima que debe haber entre la pared del hogar y el crisol, el que tenga una tendencia de calentamiento más rápido, uniforme y que se mantenga, esa será la distancia que ahorre más combustible en la fundición<sup>16</sup>, para su mejor entendimiento se hacen las siguientes figuras y las diferencias de radio que se propusieron para hacer la práctica experimental (ver figura 37a, 37b y 37c).

La metodología empleada para este experimento, fue, realizar por medio de una lámina de 3/16'' rolada, de 20'' de diámetro con tapa al fondo para recrear las paredes del refractario del hogar del horno y variar el diámetro del crisol del horno, con otras láminas de 3/16'' roladas con tapa al fondo, estas de un diámetro de 10'', 12'' y 14'' para recrear la diferencia de radio entre el hogar del horno y el crisol. Para calcular la temperatura a la que se llega dentro del crisol se utilizó una pistola de medición de temperaturas tipo infrarrojo que da la temperatura reflejada en la tabla V.

---

<sup>16</sup> Practica experimental propuesta por el Ing. Mec. Roberto Aguilar, metalurgista.

Figura 37. **Diferencias de radio en hogar del horno y crisol**



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Resumen de práctica de diferencia de radios**

Diferencia de diámetros	Grados iniciales	Grados finales	Diferencial de tiempo	Observaciones
5 pulgadas	35.5° C	485.7° C	10	mucho tiempo
4 pulgadas	34° C	487.2° C	9.5	tiempo promedio
3 pulgadas	34° C	489.1° C	9.3	llama muy puntual sobre el crisol (no uniforme)

Fuente: elaboración propia.

Se concluyó que utilizando una diferencia de radios de 4 pulgadas se dan las condiciones anteriores y esta diferencia será la tomada para hacer el diseño ya que es la recomendable para optimizar el recurso del combustible en el hogar del horno.

Para esta práctica se estandarizó una mezcla de oxígeno-acetileno de 2-5, quiere decir que se utilizó a una presión de 2psi de acetileno y 5psi de presión de oxígeno para adquirir los datos de rendimiento en función de la diferencia de los radios del hogar y crisol, esto depende mucho de la presión atmosférica y la temperatura ambiente del lugar pero no puede bajar de 1psi ni exceder 7psi en ambos para mantener una mezcla idónea.

#### **2.2.1.6. Aspectos económicos (comparación método actual con método propuesto)**

Como se demostró por medio de un cálculo en el numeral 2.1.1.2 (ver tabla II pág. 47) que representa un costo de uso de insumos, de tiempo de mano de obra mal invertida, de re-trabajo y de oportunidad para la empresa tener el método actual de la fundición de babbitt, se hace nuevamente un análisis de costo para el diseño del horno utilizando a una persona en base al proceso propuesto. Para este cálculo se toma en cuenta que el proceso demorará aproximadamente 30 min. Una sola persona en el proceso de fundición de babbitt, preparación de la bancada y vertido del babbitt que se considera el costo crítico para la mejora.

Para observar con detalle el proceso ver el diagrama de proceso propuesto con el diseño del horno de fundición que está en el numeral 2.2.3.1 pag. 72 y la siguiente tabla (ver tabla VI) que describe el cálculo de la diferencia de costos.



Para el cálculo del costo por fundición de oxiacetileno se emplea el actual, ya que se utilizará el mismo combustible, el costo por hora de éste es el visto en la pág. 27.

$$\text{costo}_{\text{oxiacetile no}}_{\text{hora}} = 38 + 103.5 = 141.5Q$$

Tabla VI. **Costo de fundición propuesto**

<b>Fundicion de Babbit metodo propuesto</b>		
<b>descripcion</b>	<b>salario</b>	<b>prestaciones</b>
Salario tornero (día)	67.7	Q118.48
Total con prestaciones (día)		Q118.48
<b>Total con prestaciones (hr.)</b>		<b>Q13.16</b>
Salario 1 tornero (hr.)		Q13.16
Costo por fundicion de oxiacetileno		Q141.50 (+)
Costo en .66 hrs. (40 min)		Q8.69 (+)
Costo retrabajo		Q0.00 (+)
Costo de oportunidad 3 torneros		Q0.00 (+)
<b>Costo total M.O.</b>		<b>Q150.19</b>
<b>Metodo</b>	<b>Costo</b>	<b>% de diferencia</b>
Actual	3053.87	100%
Propuesto	150.19	4.9%
	total dif. Porcentual	95.1%

Fuente: elaboración propia.

El 95.1% indica el ahorro que tendrá la empresa en cada fundición por concepto de evitar el costo de uso de insumos, de tiempo de mano de obra mal invertida, de re-trabajo y de oportunidad para la fundición de babbit con el uso del horno de fundición.

El costo que se incluye por única vez es el de construcción del horno, que se describe por sus materiales y aspectos geométricos.

- Crisol del horno con lámina de acero al carbón 3/16''

$$\text{Área}_{\text{superficial}}_{\text{crisol}} = \text{Area}_{\text{lateral}} + \text{Area}_{\text{base}}$$

$$\text{Área}_{\text{superficial}}_{\text{crisol}} = 2 * \pi * 4'' * 12'' + \pi * 4''^2$$

$$\text{Área}_{\text{superficial}}_{\text{crisol}} = 351.85 \text{ pulgadas}^2 = 2.44 \text{ pies}^2$$

- Hogar del horno con lámina de acero al carbón 3/16''

$$\text{Área}_{\text{superficial}}_{\text{hogar}} = \text{Area}_{\text{lateral}} + \text{Area}_{\text{base}}$$

$$\text{Área}_{\text{superficial}}_{\text{hogar}} = 2 * \pi * 10.1875'' * 16'' + \pi * 10.1875''^2$$

$$\text{Área}_{\text{superficial}}_{\text{hogar}} = 1350.21 \text{ pulgadas}^2 = 9.38 \text{ pies}^2$$

- Precalentador del horno con lámina de acero al carbón 3/16''

$$\text{Área}_{\text{superficial}}_{\text{precalentador}} = \text{Area}_{\text{lateral}} + \text{Area}_{\text{base}}$$

$$\text{Área}_{\text{superficial}}_{\text{precalentador}} = 2 * \pi * 16.5'' * 20'' + \pi * 16.5''^2$$

$$\text{Área}_{\text{superficial}}_{\text{precalentador}} = 2928.75 \text{ pulgadas}^2 = 20.34 \text{ pies}^2$$

- Base superior crisol del horno con lámina de acero al carbón 3/16''

$$\text{Área}_{\text{tapadera}}_{\text{crisol}} = \pi * 8''^2 = 201.6 \text{ pulgadas}^2 = 1.4 \text{ pies}^2$$

- Base superior hogar del horno con lámina de acero al carbón 3/16''

$$\text{Área}_{\text{tapadera}}_{\text{hogar}} = \pi * 10.1875''^2 = 326.05 \text{ pulgadas}^2 = 2.26 \text{ pies}^2$$

- Tapadera Precalentador con lámina de acero al carbón 3/16''.

$$\text{Área}_{\text{tapadera}_{\text{precalentador}}} = \pi * 20''^2 = 1256.64 \text{ pulgadas}^2 = 8.73 \text{ pies}^2$$

- Tubo de 6'' de diámetro por 26'' de largo
- Varilla corrugada de ¼'' para refractario
- Válvula para paso de gases de 6'' de diámetro
- Angular de 2''\*3/16'' de 12'' para base de quemador multiflama
- Sensor Raytec, 1 unidad
- Refractario Ultra-70, 1 unidad

En la tabla VII se presenta el costo de los materiales del horno, cabe mencionar que por el despacho de material en la bodega se redondean las cantidades de material que por su forma no lo pueden dar según las necesidades en la bodega pero el costo se debe de tomar en cuenta.

**Tabla VII Resumen del costo único de construcción del horno**

No.	Nombre parte	Material	Cantidad	Costo unitario	Cant. Redondeada	Costo
1	Crisol del horno	lámina acero al carbon 3/16	2.44 pies cuadrados	Q20.04		
2	Hogar del horno	lámina acero al carbon 3/16	9.38 pies cuadrados	Q20.04		
3	Pre calentador del horno	lámina acero al carbon 3/16	20.34 pies cuadrados	Q20.04		
4	Base superior crisol	lámina acero al carbon 3/16	1.4 pies cuadrados	Q20.04		
5	Base superior hogar	lámina acero al carbon 3/16	2.26 pies cuadrados	Q20.04		
6	Tapadera precalentador	lámina acero al carbon 3/16	8.73 pies cuadrados	Q20.04	60 pies cuadrados de lamina	Q1,202.40
7	Tubo conexión	tubo 6'' cédula 40	2.16 pies de largo	Q98.70	10 pies de largo	Q987.00
8	Agarrador de refractario	varilla corrugada de 1/4''	5 pies de largo	Q1.50	10 pies de largo	Q15.00
9	Válvula para paso de gases	único	1 unidad	Q450.00	1 unidad	Q450.00
10	Base quemador	angular de 2*3/16''	.33 pies de largo	Q5.58	10 pies de largo	Q55.80
11	Sensor Raytec	único	1 unidad	Q12,129.46	1 unidad	Q12,129.46
12	Refractario ultra-70	refractario	1 saco	Q238.39	1 saco	Q238.39
13	pernos de expansion	único	8 unidades	Q10.00	8 unidades	Q80.00
					Total costo redondeado	Q15,158.05

Fuente: elaboración propia.

El costo de la construcción del horno se puede recuperar según el costo del método actual en:

$$\text{Recuperación}_{\text{costo}} = \text{costo}_{\text{construcción}_{\text{horno}}} / (\text{costo}_{\text{metodo}_{\text{actual}}} - \text{costo}_{\text{metodo}_{\text{propuesto}}})$$

$$\text{Recuperación}_{\text{costo}} = Q.15,158.05 / (Q.3,053.87 - 150.19)$$

$$\text{Recuperación}_{\text{costo}} = 5.22 \cong 6_{\text{veces}}$$

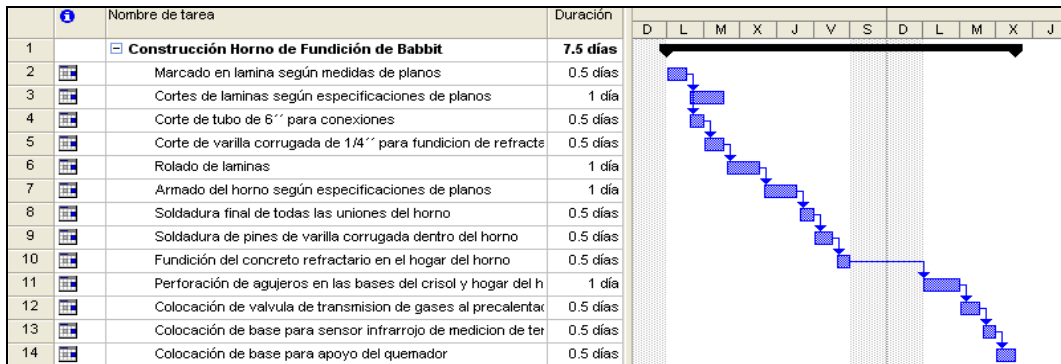
El costo de inversión del horno se recuperará al utilizarlo 6 veces en operación normal ya que la empresa dejara de pagar el 95.1% del costo asociado del método actual visto en la tabla VI pág. 62.

### **2.2.2. Montaje del horno**

El montaje del horno constará por una construcción in situ, por las características que tiene el equipo, con lo cual, cuando se pretenda construir en el taller mecánico se presenta un diagrama de Gantt con la ayuda del programa Microsoft Project 2003 con las actividades que se deben tener en cuenta para realizar su construcción.

Con el cuadro de Diagrama de Gantt se puede apreciar que el horno puede construirse en el transcurso de una semana con días hábiles laborables durante el periodo de reparación (ver figura 38).

Figura 38. Diagrama de Gantt para construcción de horno de fundición



Fuente: elaboración propia.

### 2.2.2.1. Ubicación

Utilizando un diagrama de panal en el numeral 2.2.2.1.1. Se plantea el mejor lugar para la instalación del horno dentro del taller mecánico.

#### 2.2.2.1.1. Diagrama de Panal

Por medio del método de distribución de planta se describe el siguiente diagrama de panal para una posición fija<sup>17</sup>, considerando los siguientes criterios y ambientes.

Criterios:

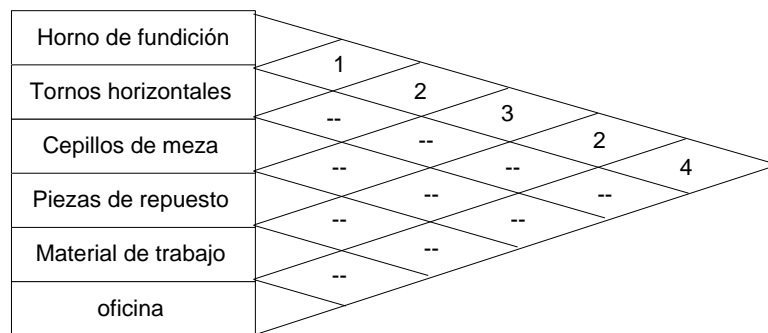
- Cercanía indispensable (ponderación 1)
- Cercanía deseada (ponderación 2)
- Cercanía no deseada (ponderación 3)
- No cercanía (ponderación 4)

<sup>17</sup> TORRES, Sergio. Texto Ingeniería de plantas. Edición 2004. 66 p.

Ambientes:

- Área de tornos horizontales
- Área de cepillos de meza
- Área de piezas para repuesto
- Área de material de trabajo
- Oficina

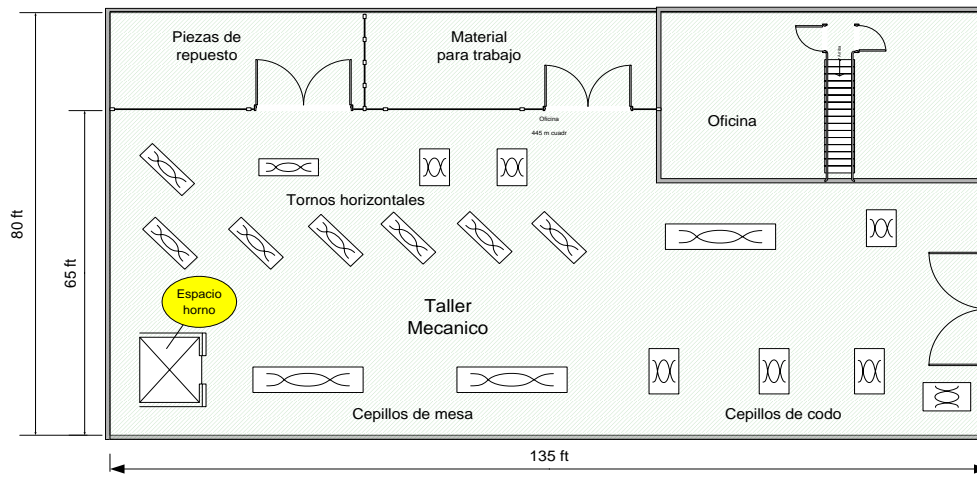
Figura 39. **Diagrama de panel de ubicación de horno**



Fuente: elaboración propia.

Por medio del diagrama de panel se sabe la ubicación del horno de fundición y teniendo en cuenta las dimensiones del área del taller mecánico se desarrolla el siguiente bosquejo que indica la ubicación precisa de donde se montará el horno.

Figura 40. Esquema de ubicación del horno



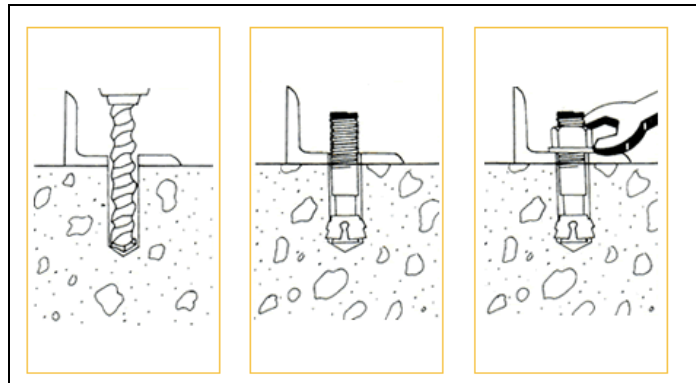
Fuente: elaboración propia.

### 2.2.2.1.2. Pernos de anclaje y obra civil

Debido que el horno no sufre de alguna vibración, no se le colocarán pernos diseñados con aislamiento de vibración, a cambio de ello se colocarán pernos de expansión inoxidable de  $\frac{1}{2}'' \times 2 \frac{3}{4}''$ , que consisten básicamente en practicar un agujero en cada base que soporta el equipo y agujeros en el concreto que coincidan con dichas bases para luego colocar los pernos en el concreto que se activan y fijan al momento del apriete.

La obra civil que se llevará a cabo es la fundición de concreto refractario dentro del hogar del horno, para estas consideraciones se tomaron las siguientes características de concreto para su aplicación.

Figura 41. **Pernos de expansión**



Fuente: Catalogo virtual Faconet.com, tornillos de expansión, tornillería.

En el mercado habitual de refractarios se encuentran normalmente sacos preparados para la aplicación de agua para hacer la mezcla del concreto, posterior a eso, esta mezcla se aplica a las paredes de hornos de fundición y calderas según sea el caso, debido a que el Ingenio tiene un proveedor de este material refractario se consiguió la característica mas adecuada para el horno de fundición. Esta característica es un concreto llamado Ultra-70 de Thermal Ceramics con análisis químico nominal en porcentaje ASTMA C 573-01<sup>18</sup> de:

- 47% de Alúmina
- 40% de Sílice
- 1.3% de Óxido Férrico
- 7.8% de Óxido de Calcio
- 0.7% de Óxido de Magnesio
- 0.9% de Álcalis

---

<sup>18</sup> *Thermal Ceramics Centroamericana*. Refractarios Nacionales, S.A. Moldeables Refractarios. 2004. 2 P.



Éstos hacen de su composición química el refractario para soportar llamas directas sin deteriorar la lámina superficial y resguardar el calor para la eficiencia del horno.

### **2.2.3. Operación con diseño propuesto**

Para contrastar la operación actual con la propuesta se hacen las siguientes mejoras de operación que se describen a continuación según la base del diseño del horno de fundición de metal babbit.

- Eliminación de la capa gastada de babbit de la bancada: Debe hacerse por medios mecánicos, no por medio de oxicorte, un medio mecánico puede ser el desvastado en un torno horizontal, para los pines de sujeción de la chumacera de babbit insertos en la bancada que no puedan desvastarse, pueden ser removidos con equipo oxicorte, pero se debe eliminar el babbit que sea producto de este derretido con llama directa, porque se provoca oxidación, para el resto de babbit desvastado en el torno horizontal, el área de trabajo debe estar limpia de impurezas metálicas que no sean propias del babbit para evitar contaminación en la colada.

La eliminación por desvastado para una chumacera es de aproximadamente 45min. Y se hace paralelamente con trabajos que tenga pendientes el soldador especializado que será el encargado de la fundición.

- Limpieza, desengrase y preparación de la bancada: Para poder eliminar la suciedad de la bancada nueva es aconsejable lavar con hidróxido de sodio al 10% para eliminar suciedad y grasa dejada por el maquinado, posterior a esto, lavar con agua caliente (80° C) para eliminar residuos de

hidróxido de sodio, para fines de no provocar corrosión por picadura de hidróxido de sodio.

- Lavarse con thinner luego hacer lavado con agua caliente (80° C), aunque esta corrosión por parte del hidróxido de sodio ayudaría a que los micro cráteres provocados por esta corrosión ayude a la mejor adherencia del babbitt vertido. Posterior a esta actividad se le debe colocar el molde que hará que el babbitt vertido adquiera su forma cilíndrica y el grosor de la chumacera, estas actividades tardan aproximadamente 1.5h.
- Recolección de babbitt nuevo y usado: Realizado el desvastado en el torno horizontal se procede a recolectar en forma de reciclaje todo el arranque de viruta del metal babbitt de la chumacera usada, para la masa que haga falta en la colada, se debe equilibrar con babbitt nuevo que esta normado por ASTM B 23-00.
- Equipo de protección personal (EPP): Con un tiempo de 5min el tornero podrá colocarse su equipo de protección personal, que consta de gabacha de cuero, guantes de tiro largo, con mascarilla para polvos, humos y neblina que atrapen los vapores de plomo que puedan producirse en la fundición, su casco contra impactos y sus gafas protectoras.
- Precalentamiento del Horno: Antes de poder sumergir los lingotes de babbitt y el babbitt reciclado, hay que precalentar el horno con el crisol puesto, se tiene que utilizar el medidor de temperatura para estimar si el crisol esta preparado para la colada, es un proceso de aproximadamente 10min.

- Derretido del babbitt: Con el horno y crisol precalentado se sumergen los lingotes de babbitt nuevo y usado elevando la temperatura hasta valores entre 440° C y 470° C (temperatura de vertido), estos valores se aprecian con el sensor infrarrojo Raytec, al mismo tiempo se revuelve para disminuir el peligro de separación de sus componentes, ahora bien, una mejora que se a obtenido con el horno es la eliminación del contacto de la llama directa, con esto se evita su oxidación. Para el derretido total del babbitt, se estima según la fase experimental de la diferencia de radios, un tiempo de 10min a 15min, esto depende del momento que se abra la válvula de la tubería que comunica el precalentador.
- Preparación de la bancada: Cuando se esté efectuando el derretido del babbitt, se puede abrir la válvula de la tubería de comunicación del horno con el precalentador, así obtener otra mejora en aspectos energéticos, porque se estará aprovechando el calor que sale del hogar del horno en forma de gases que están tratando escapar hacia la atmósfera y forzarlos a que toquen las paredes de la bancada y a la vez el asiento donde se verterá el babbitt.
- Vertido del babbitt: Con el crisol que cuyo volumen tiene la capacidad suficiente para cubrir la pieza de una sola vez, se vierte el babbitt en la bancada, verificando con anterioridad la temperatura. Antes de terminar el vertido, la velocidad del chorro se debe disminuir para garantizar que no se introduzca aire por la turbulencia del metal líquido. El molde no se desmonta de la bancada hasta el completo endurecimiento del babbitt.

### 2.2.3.1. Reducción del tiempo de operación

Este diagrama de operación muestra la diferencia de tiempo que existe por facilidad de operación con el horno, este tiempo que se estima, es tiempo realizado por una sola persona, sin la ayuda de los demás compañeros, se calcula la diferencia de tiempos en los tiempos de operación de la siguiente manera:

$$\% \text{ de reducción de tiempo} = \frac{(\text{tiempo}_{Op\_actual}) - (\text{tiempo}_{Op\_propuesto})}{\text{tiempo}_{Op\_actual}} * 100$$
$$\% \text{ de reducción de tiempo} = \frac{870 \text{ min} - 740 \text{ min}}{870 \text{ min}} * 100 = 14.94\%$$

Nota: los tiempos ingresados en la ecuación, son los tiempos contemplados en el resumen del diagrama del flujo de proceso del método actual y método propuesto.

Significando un 14.94% de disminución del tiempo empleado en todo el proceso y con la diferencia de costos de operación y oportunidad vistos en el numeral 2.2.1.6 pág. 61 de 95.1%, para tener una mejor visualización ver la figura 42 en la página 75.

### 2.2.3.2. Proceso administrativo

Dentro de la división industrial existe un proceso administrativo de gestión del mantenimiento llamado SIGES (Sistema integrado de gestión de empresa), es el encargado de llevar los procedimientos de mantenimiento de todos los equipos, también está el departamento de activos fijos que es el encargado de asignarle un código a todo el equipo nuevo que ingresa a la corporación.

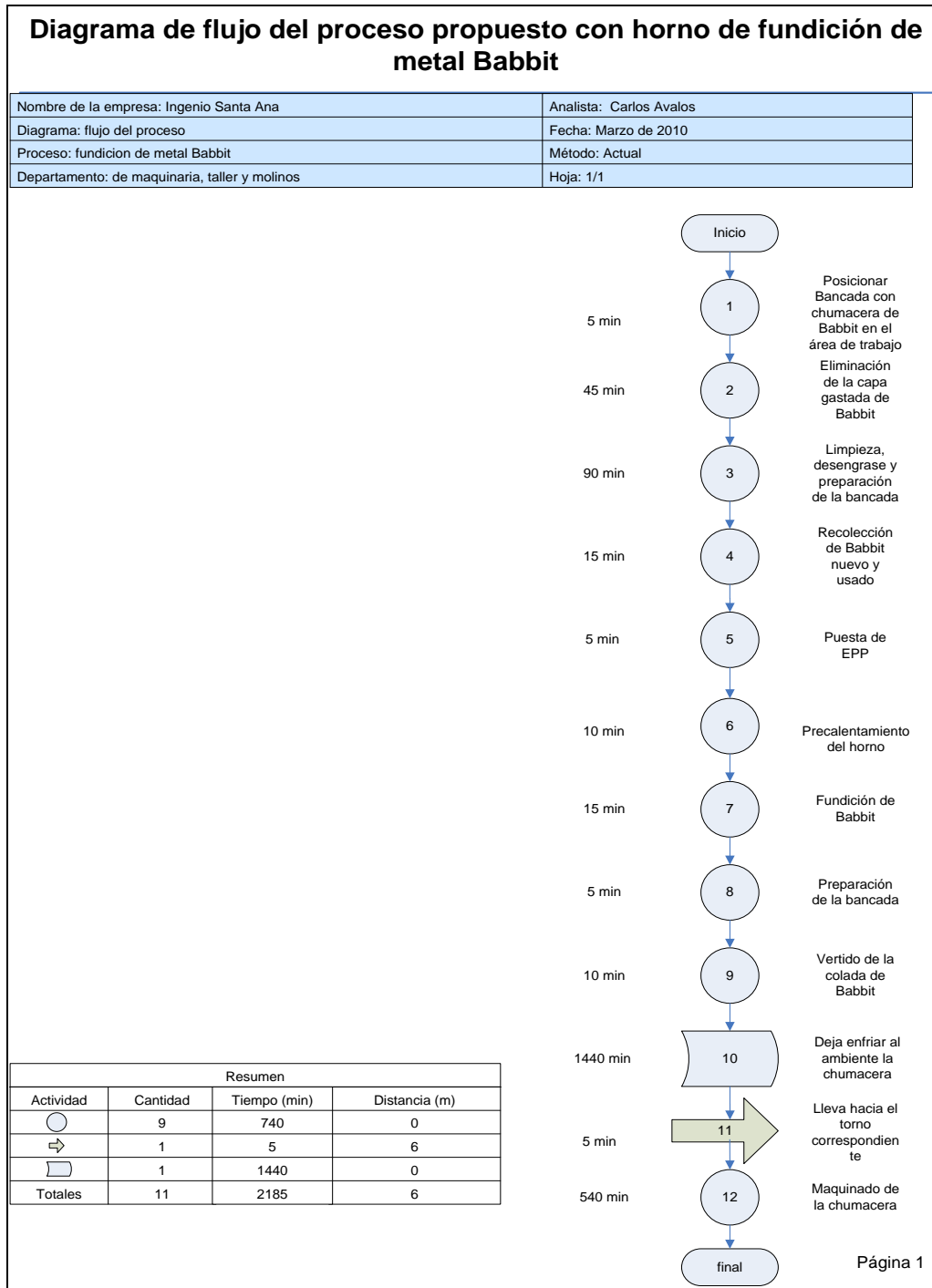
Como el horno de fundición es un equipo nuevo que se incorporará a todas las demás herramientas del taller mecánico se tienen que gestionar varios registros de asignación de activo.

Se debe de registrar dentro de la categoría de herramientas para fabricación de piezas en el departamento de activos fijos, se debe también asignar un código para el horno el cual este departamento es el encargado, cuando estén listos estos dos detalles en el departamento de activos fijos, se ingresa el equipo dentro del sistema de SIGES, culminado este procedimiento, se podrá dar uso del horno pero con el procedimiento de SIGES.

Este procedimiento consiste en generar una orden de trabajo por fundición de chumaceras de determinado eje de equipos que también tienen su código registrado dentro de Activos Fijos, este activo se coloca en la hoja de trabajo y se le presenta al jefe de taller mecánico para que él haga un tiempo estimado de trabajo, luego de este paso, la hoja de trabajo se dirige al departamento de SIGES para que se le genere un número de aviso, el cual indica el número de actividad que ha tomado la fundición de la pieza dentro de todas la demás actividades que se realizan como gestión del mantenimiento.

Posteriormente, la hoja de trabajo regresa al taller mecánico con su número de aviso, número de orden de trabajo, al activo que se le trabajará, la descripción del trabajo, quien lo autoriza y cuanto tiempo estimado tardará para que el jefe le de ingreso al sistema de control de hojas terminadas en función del tiempo y cantidades solicitadas por mantenimiento correctivo, terminado este procedimiento, el jefe le da la orden de trabajo al soldador especializado para que funda la pieza.

Figura 42. Diagrama de flujo del proceso propuesto de fundición



Fuente: elaboración propia.

## **2.2.4. Guía de mantenimiento para el horno de fundición de babbitt**

La guía de mantenimiento funcionará para llevar el control de limpiezas, mantenimientos preventivos y correctivos al equipo.

### **2.2.4.1. Plan de mantenimiento**

Dentro de un plan de mantenimiento se contempla toda una serie de actividades que deben realizarse con el fin de conservar en óptimas condiciones los elementos físicos de un equipo. El objetivo de mantener en óptimas condiciones estos elementos es para operar de la mejor manera posible, de forma segura, eficiente, económica y especialmente para mantener el servicio por el cual fue creado.

#### **2.2.4.1.1. Frecuencia de mantenimiento**

El crisol, parte fundamental del horno, es necesaria la inspección interna y externa, para la verificación de fracturas o pérdida de geometría por las altas temperaturas que alcanza el horno, la inspección y frecuencia se debe hacer antes y después de utilizar el equipo.

Para aminorar la probabilidad de un fallo por parte del horno, se considera verificar con cada operación, antes y después, la observación del refractario, debido a que no es un equipo que se use todos los días y puede pasar algún tiempo para ser utilizado nuevamente. Con este paso del tiempo puede fracturarse o desprenderse el refractario y de no darse cuenta existe el riesgo de lesionar al personal en la operación y que el proceso de fundición no se pueda controlar debido a pérdidas de calor.

Para el funcionamiento del sensor de temperatura que es el encargado de decir la exactitud de la temperatura en la colada, el manual del fabricante indica algunos procedimientos para aminorar la frecuencia del mantenimiento, el cual estipula también que por cada uso del sensor, dependiendo del producto se limpie el lente que registra y está expuesto a la colada.

Otro de los elementos que requiere de mantenimiento es el quemador o multiflama que va instalado externamente pero que la boquilla es la que esta directamente dentro del hogar del horno, este por lo general y por el uso que se le da, se bloquea el paso de la mezcla con hollín o partículas sólidas del combustible, el tiempo prolongado que se deja de usar ocasionará que se deje de limpiar y tenga mayor dureza en su limpieza, por tal motivo es recomendable hacer la limpieza del mismo después del uso del horno.

Válvula de transmisión de gases, esta válvula que por el lugar y la forma de operación esta expuesta a bloquearse, pero las probabilidades se disminuyen si la válvula es fabricada con diseño de la función que se le pretende dar, la apertura y cierre de gases, la frecuencia de mantenimiento se debe hacer antes y después de su operación.

#### **2.2.4.1.2. Procedimiento de mantenimiento**

Como todo procedimiento lleva una secuencia lógica para realizar las actividades de manera práctica y equilibrada con el objetivo de controlar los mantenimientos llevados a cabo durante cada inicio de operación del equipo. Para este procedimiento se crea una ficha de control para facilitar el procedimiento y archivar los mantenimientos realizados por parte del personal, esta ficha de control propuesta se presenta en el numeral 2.2.4.2.5 pág. 81 y figura 42 en la página 82.



### 2.2.4.1.3. Lista de repuestos

Para mantener un listado de repuestos que se deriven de una reparación por parte del personal operativo, se enumeran los siguientes en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Lista de repuestos en stock**

Lista de repuestos		
No.	descripcion	cantidad
1	Quemador	1 unidad
2	Concreto refrantario	1 saco
3	Equipo oxiacetilenico	1 equipo
4	Válvula paso de gases	1 unidad

Fuente: elaboración propia.

### 2.2.4.2. Mantenimiento preventivo

Se define el mantenimiento preventivo como, el conocimiento sistemático del estado de la maquinaria y equipo, para la planeación y programación de las actividades que eliminarán las averías que provocan paros imprevistos, para el horno, el mantenimiento preventivo se define como el aseguramiento de la función antes del encendido por la inspección del mismo para que este no tenga fallos durante la operación.

#### 2.2.4.2.1. Limpieza

Consta de realizar una limpieza dentro del hogar del horno, crisol y la boquilla del quemador antes del inicio de cada operación, esto es cuando el horno esta totalmente frío, esta parte se puede realizar con un cepillo de cerdas plásticas para no lastimar el refractario de las paredes.

Se incorpora una limpieza interna al crisol para evitar toda clase de contaminación de otros metales y que no afecte la estructura molecular del metal babbit, esta limpieza puede ser realizada con algún solvente que no corroa el metal de aleación de carbono del crisol para eliminar todo tipo de grasa que puedan causar alguna anomalía en la colada o la explosión de gases por la alta temperatura. Limpieza interna del quemador, precisamente en la boquilla para reducir los bloqueos del combustible.

#### **2.2.4.2.2. Inspección de grietas en ladrillos refractarios**

Esta inspección la realizará el operario que utilice el equipo paralelo al momento de estar haciendo la limpieza de la pared de refractario, se hace por medio de una inspección visual y se toma la decisión de hacer algún cambio de refractario cuando se observen grietas bastantes pronunciadas, como principio de fundición de cerámicos que cualquier grieta por minima que sea, se sabe que es un desprendimiento interno de su estructura y por conducción de las partículas de aire que habitan en la grieta se disipa el calor<sup>19</sup>.

#### **2.2.4.2.3. Inspección del crisol**

La inspección del crisol se hace por medio visual y golpe, este último se aplica y su fundamento consiste en dar un golpe no muy pronunciado y si el sonido que emite de forma natural el crisol se interrumpe es señal que tiene una fractura, y se procede a verificar con detalle de que magnitud es la fractura, porque puede ocasionar el colapso del mismo y con la colada del metal puede ser peligroso para el operario.

---

<sup>19</sup> FAYE MACQUINSTON. C. Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño. 2002. 194 P.

#### **2.2.4.2.4. Pruebas de funcionamiento**

En las pruebas de funcionamiento se puede usar el análisis VOSO que es uno de los mantenimientos más económicos y fáciles de realizar, debido a que es de fácil aplicación y no se necesita de inversión económica. El análisis VOSO consta de ver, oír, sentir y oler.

- **Ver:** Consiste en encender el horno, estar pendiente de las fugas de gases donde no deben de ser, si las hay, marcarlas y repararlas, y prevenir una colada a medio producir y hacer otras actividades no programadas.
- **Oír:** El quemador que está dentro del hogar del horno, emite un sonido que al pasar varias operaciones, nuestro oído es capaz de familiarizar el sonido con una flama acorde a la buena operación, para ello, se necesita encender el horno, y escuchar la flama que emite el quemador y dar un visto bueno o rectificar la situación anómala.
- **Sentir:** El sentido del tacto del ser humano como de todos los sentidos es necesario para este tipo de procedimiento, el operador del horno debe ser la persona encargada para realizarlo, consta de hacer constar si el horno esta sobrecalentándose o esta perdiendo calor por cualquier parte del horno, como de observar si algún tipo de llama esta saliendo por otro lado que no sea el adecuado y esto pueda provocar un riesgo para la operación.
- **Oler:** El combustible como cualquier otro tiene su característica particular de tener un olor único, pero también lo tiene cuando es provocada la combustión, por ejemplo, cuando el combustible es muy rico en su mezcla tiende a carburizar toda el área que hace contacto, pero esta mezcla

tiende a sentirse por medio del olfato, esta característica debe de ser reportada para una corrección en el sistema de ignición.

#### **2.2.4.2.5. Ficha de control**

Es una lista de validación que de manera práctica se analizan las pruebas de funcionamiento del horno en su mantenimiento, se considera un parámetro comparativo para dar el visto bueno del arranque del horno. Para el desarrollo de esta ficha se escriben los puntos que se consideren críticos en el funcionamiento y se coloca a la par un espacio para colocarle un check de visto bueno por la persona encargada de realizar la inspección.

La lista servirá para asegurar que la persona encargada de utilizar el equipo cuenta con todos los estándares que debe supervisar o evaluar para el que fue diseñado.

Otro objetivo encontrado con la lista es demostrar que se llevo a cabo la inspección del equipo, el cual esa respaldada con el jefe de taller mecánico.

Para dicha lista se realizó una propuesta que se adecua a las necesidades del equipo (ver figura 43).

Figura 43. Ficha de control de mantenimiento de horno de fundición

## TALLER MECÁNICO

FICHA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO  
HORNO DE FUNDICIÓN BABBIT



---

Fecha: \_\_\_\_\_

Código: \_\_\_\_\_

Nombre operario: \_\_\_\_\_

	Verificado	Observación
- Limpieza de Quemador		
- Combustión de llama del quemador		
- Angulo de combustión del quemador		
- Inspección de crisol		
- Inspección de refractario del hogar del horno		
- Inspección de area superficial del horno		
- Funcionamiento de sensor de temperatura		
- Funcionamiento de mecanismo de sensor de temperatura		
- Abertura de la valvula de transmisión de calor		

F. \_\_\_\_\_

Jefe de taller mecánico

Fuente: elaboración propia.

### **3. FASE DE INVESTIGACIÓN. ANÁLISIS DEL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE CENIZAS DE LAVADO DE GASES DE CALDERAS**

Fase en la cual se analizará el impacto positivo que tendrá la implementación de un proyecto de tratamiento de agua de lavado de cenizas.

#### **3.1. Sistema de tratamiento de agua de cenizas de lavado de gases de calderas**

Actualmente en el área de calderas, el agua de inyección para la limpieza de gases y cenizas se ha propuesto su reducción como un esfuerzo de mejora continua de producción mas limpia para contribuir con la eficiencia medioambiental en las instalaciones de la empresa, el rendimiento de los subproductos, el prestigio al mejorar la imagen de la empresa relacionando los resultados del proceso y ahorros significativos del agua, estos aspectos se consiguen al poner en operación un sistema para tratamiento de agua de cenizas y lavado de gases.

Para la instalación de un sistema de limpieza de gases de calderas que utilicen bagazo de caña, algunos aspectos importantes deben ser considerados en la selección de la tecnología a ser empleada.

En la quema de bagazo de caña en calderas, la parte más leve de los sólidos residuales es arrastrada por los gases, requiriendo la instalación de sistemas de limpieza después de las calderas, para la preservación de la emisión gaseosa.

Los sólidos no arrastrados por los gases se depositan en los ceniceros de las calderas y necesitan ser removidos para evitar la obstrucción del equipo y pérdida de eficiencia de la operación. Para la optimización de la infraestructura de manipulación y transporte de los sólidos residuales de la quema y la reducción de costos, el proyecto de los sistemas de limpieza de gases y de limpieza de ceniceros debe ser considerado en conjunto.

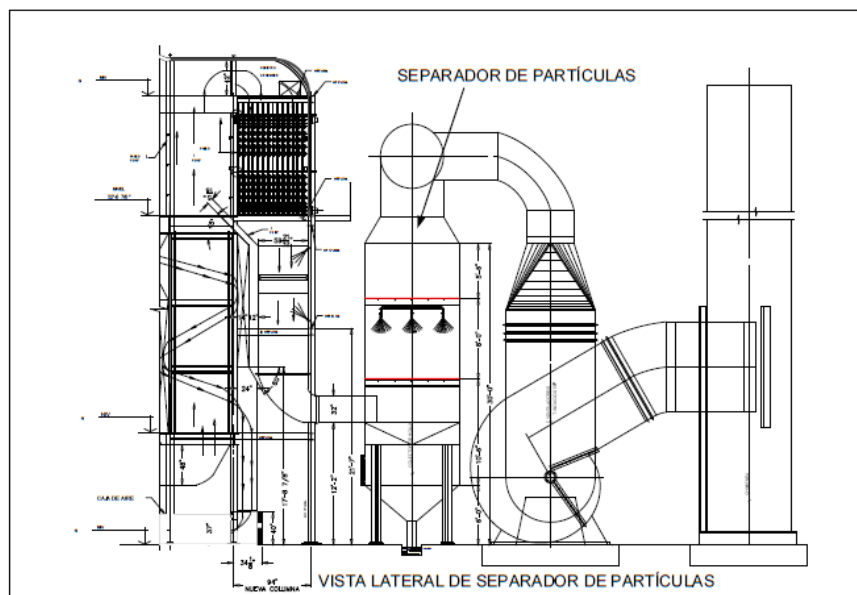
### **3.1.1. Descripción**

Para estar dentro de las reglamentaciones ambientales actuales, los gases emitidos por calderas que utilizan el bagazo de caña como combustible en la generación de vapor para energía eléctrica y dar vapor a equipos de producción de azúcar, están en la obligación de pasar por una fase de lavado de partículas sólidas que son arrastradas por los gases de combustión, esta fase puede ser por vía seca o vía húmeda.

- Vía seca: En la vía seca están comprendidos los equipos del tipo ciclones y separadores electroestáticos.
- Los de tipo ciclones que son tiros inducidos de ventiladores y que por la fuerza centrífuga hace que las partículas que son mas pesadas que las partículas del aire queden dentro de una cubierta que las atrapa, estos fueron instalados en el pasado en ingenios de azúcar en Brasil, sin embargo, a pesar de ser caros y complejos no pudieron cumplir con las legislaciones de control ambiental. Y los tipos separadores electroestáticos, que usa corrientes estáticas para aprovechar el efecto físico de que las partículas cargadas eléctricamente se ven desviadas dentro de un campo eléctrico, caen a una placa y posterior a eso son limpiadas para obtener aire limpio.

- Vía húmeda: Donde el agua es el vehículo de transporte de los sólidos, que utiliza lavadores de gases o scrubbers, (ver figura 44) éstos son de naturaleza simple, bajo costo de inversión, y presentan gran eficiencia de limpieza de los gases.
- En estos sistemas, la limpieza de los gases se realiza con agua limpia, bombeada, por medio de boquillas aspersores, son atomizadas en las cámaras de pasaje de los gases por medio del ventilador de tiro inducido. En el caso de operación en circuito cerrado, el agua con residuos debe ser reciclada después de pasar por un sistema de tratamiento para remoción de sólidos, de forma que no provoque problemas de bloqueo en las boquillas lavadoras y desgaste de tuberías y equipos.

Figura 44. Lavador de gases o scrubber



Fuente: Memoria técnica ataca 2002, 12 p.



Aunque esta opción, tanto para la limpieza de gases y la de ceniceros internos en las calderas, sea considerada la mas adecuada con relación a la eficiencia, se ve la necesidad de un proceso efectivo para la remoción de los sólidos del agua y, de esta forma, posibilitar su recirculación. De esta forma, se toma la decisión de hacerlo por el método de vía húmeda por los siguientes aspectos:

- Se atiende la calidad de agua requerida por los sistemas de lavado
- Se recupera el agua para ser usada para el propio proceso
- Presenta un costo de operación y mantenimiento inferior al de los otros métodos de lavado de cenizas y el actual por extracción de agua
- Se dispone de los sólidos de ceniza en una forma adecuada para el transporte

#### **3.1.1.1. Flujograma esquemático del proceso**

Con el método escogido, se desglosa un boceto del flujo que lleva un proceso de reciclado de agua para el lavado de gases de calderas el cual tiene la característica que el agua con ceniza que proviene de los ceniceros y scrubbers llega a un tanque llamado de agua de cenizas luego por medio de una bomba centrífuga con impeller semi-vortex o semi-abierto impulsa ésta agua hacia un colador rotativo que separa los sólidos, que luego estos sólidos que logró separar el colador los deposita en la tolva de cachaza que es la que se encarga de recolectar toda la cachaza que viene de clarificación de fábrica.

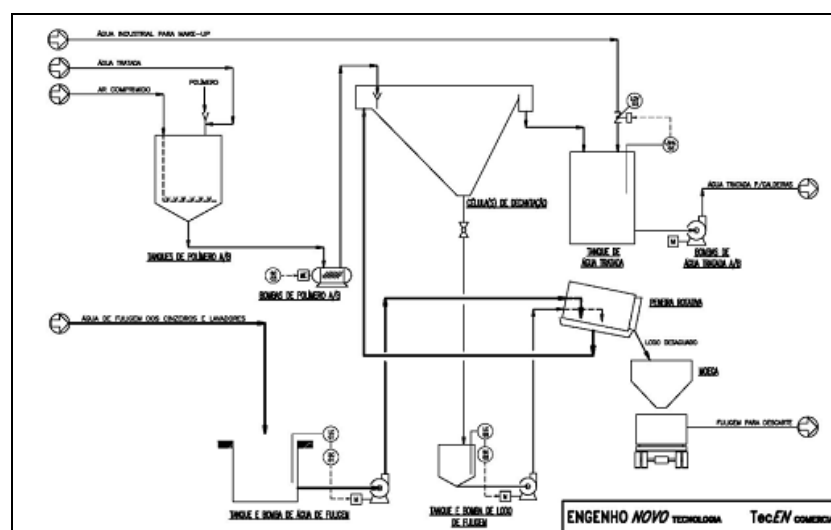
La anterior tolva de cachaza es un recurso existente que se seguirá usando, posterior, los sólidos que no fueron removidos por el colador y que tiene aspecto de agua turbia pasan hacia las celdas de decantación para que por medio de un floculante puedan decantar estas partículas sólidas y por el

efecto físico hacer la separación de los sólidos y el agua, todos los sólidos que logren separarse se llevan a un tanque de lodo que por bombas con impulsor abierto se transportan nuevamente al colador rotativo para un segundo filtrado que es de menor tamaño al que había salido de la primera colada, nuevamente, los sólidos que logren separarse por el filtro caen a la tolva de cachaza y los que no regresan a las celdas de decantación a repetir el proceso.

El agua que fue separada en las celdas de decantación es elevada a la superficie de la celda como agua limpia y recolectada en un tanque de agua tratada la cual por medio de bombas centrífugas de impulsor cerrado es llevada a los ceniceros y scrubbers de las calderas para repetir el proceso de lavado de cenizas.

Para tener una mayor referencia de lo que se esta describiendo se esquematiza de la siguiente manera (ver figura 45)

Figura 45. Diagrama esquemático de tratamiento de cenizas



Fuente: Memoria técnica ataca 2002, 12 p.

### 3.1.2. Estudio técnico

Consiste en el análisis volumétrico de los caudales de lavado de cenizas de las calderas del ingenio tomando en cuenta que la generación de vapor puede estar directamente relacionada al total de ceniza esperado<sup>20</sup>, esto para que por medio de este estudio se evidencie la capacidad del sistema que se tiene que instalar.

#### 3.1.2.1. Balance de fluido de sólidos residuales

Por medio del procedimiento de medición de caudales con un Caudalímetro de campo (ver figura 46) se toman las medidas necesarias en los quineles de salidas de las calderas para hacer el diagnóstico de que tipo de planta de lavado de cenizas es la que se requiere y la capacidad que se necesita.

Figura 46. Caudalímetro



Fuente: Equipo en campo.

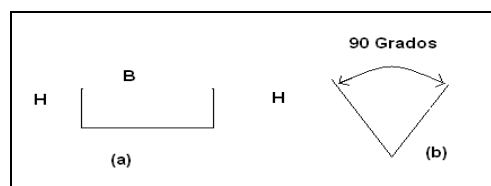
---

<sup>20</sup> DA SILVA. José Oswaldo. Sistema para tratamiento de agua de ceniza de lavado de gases de calderas. Engenho Novo. p. 12.

Los procedimientos a medir son los siguientes:

- Identificar cuáles son los quineles que serán analizados: Las salidas son identificadas por observación, estas salidas de los quineles de las calderas no son iguales, por diseño o porque unas tienen Scrubbers y otras no y otra caldera que no está en funcionamiento, es un total de 5 calderas excluyendo la que no esta en funcionamiento, deben ser analizadas de manera individual, estos quineles deben de tener un flujo constante durante la operación de la caldera para que sea considerada dentro del cálculo del caudal total, este procedimiento es llevado a cabo durante operación normal de las calderas.
- Identificar la manera de medir los caudales de los quineles: Se deben medir con el caudalímetro que registra galones por minuto (GPM) y es medido de manera puntual con varias muestras para obtener un promedio para todas aquellas salidas de calderas de forma circular y por medio de ecuación matemática para secciones rectangulares y triangulares, la ecuación matemática para el caudal [Q] tiene la siguiente aplicación<sup>21</sup>:

Figura 47. **Demostración de ecuaciones**



Fuente: GPM Goulds Pumps Manual, 300 p.

<sup>21</sup> GPM *GPM Goulds Pumps Manual 60 Hz*. Goulds Pumps A Subsidiary of ITT Corporation. p. 375.

Para la forma rectangular (a) donde la altura del agua es H y su ancho es B la ecuación es:

$$Q = 1495 * H^{3/2} * (B - 0.2 * H)$$

Para la forma triangular (b) donde la altura del agua es H ortogonalmente es:

$$Q = 1140 * H^{(5/2)}$$

### **3.1.2.2. Localización óptima del sistema**

Para ubicar eficientemente el sistema de lavado de cenizas se emplea el método de diagrama de panal.

#### **3.1.2.2.1. Diagrama de panal**

Por medio del método de distribución de planta se describe el siguiente diagrama de panal para una posición fija<sup>22</sup>, considerando los siguientes criterios y ambientes.

Criterios:

- Cercanía indispensable (ponderación 1)
- Cercanía deseada (ponderación 2)
- Cercanía no deseada (ponderación 3)
- No cercanía (ponderación 4)

---

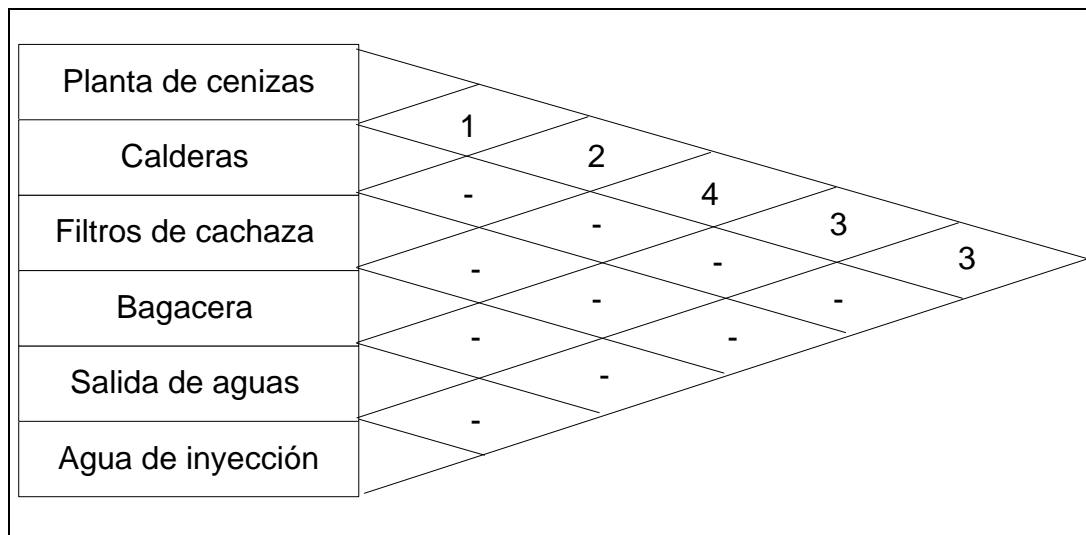
<sup>22</sup> TORRES, Sergio. Texto Ingeniería de plantas. p. 140.

Ambientes:

- Calderas
- Filtros de cachaza y tolva de cachaza
- Bagacera
- Salida de aguas
- Agua de inyección

Diagrama:

Figura 48. **Diagrama de ubicación de la planta**



Fuente: elaboración propia.

Se determina que la planta de tratamiento de cenizas estará situada lo más cercano de las calderas para optimizar el tiempo de transporte del agua que se extrae de ellas con ceniza, pero tendrá en cuenta que en todos los ambientes del diagrama tiene que comunicarse fácilmente para obtener y ceder para lo que fue diseñada, el reciclaje de agua y obtención de cachaza.

### 3.1.2.3. Determinación del tamaño óptimo

En el numeral 3.1.2.1 pág. 88 sobre balance de fluido de sólidos residuales se menciona las maneras de medición del caudal de las salidas de calderas que transportan el agua de ceniza y llevarán esta al sistema nuevo de lavado.

Otro medio utilizado es el de evaluar las toneladas de vapor generado por el ingenio para poder contrastar con el medido con el Caudalímetro, éste consta básicamente de multiplicar el caudal de agua de lavado de ceniza por las toneladas de vapor generado para encontrar el flujo total de agua de ceniza, para su razonamiento se describe a continuación:

- Por medio del caudalímetro personal de apoyo e ingeniero a cargo del área de operación de calderas y bases matemáticas se obtuvieron las siguientes medidas:
  - Caldera 1= 0GPM
  - Caldera 2=300GPM
  - Caldera 4=500GPM
  - Caldera 5=400GPM
  - Caldera 6=580GPM
  - Caldera 7= 611GPM

Los métodos empleados dan un total de 2,391GPM equivalente a 143,460 G/h ó 542 m<sup>3</sup>/h.

Con este resultado se puede deducir que, por cada celda que tiene la capacidad de tener un flujo de 200m<sup>3</sup>/h según el proveedor y al sistema

llegará  $542\text{m}^3/\text{h}$  se necesitan 2.71 celdas dando un total de 3 celdas para cubrir la demanda.

Para corroborar el dato se hace también el siguiente procedimiento pero por toneladas de vapor generado que es directamente relacionado al agua de ceniza.

- Por medio de datos de vapor obtenidos por el jefe de cogeneración del ingenio y el ingeniero a cargo de operación de calderas se obtiene la relación directa de generación de vapor del ingenio<sup>23</sup>:
  - Generación de vapor max:  $580,000\text{lb vapor/hora} = 263.63\text{t vapor/h}$
  - Caudal agua de ceniza:  $263.63\text{t vapor/h} * 2.2\text{m}^3/\text{t vapor/h} = 580\text{m}^3/\text{h}$ .
  - Capacidad cada celda:  $200\text{m}^3/\text{h}$
  - Cantidad celdas necesarias:  $580/200 = 2.9 \text{ celdas} = 3 \text{ celdas}$

Los cálculos anteriores indican que, para que el sistema no colapse, deben de construirse 3 celdas decantadoras en el sistema de lavado de ceniza, con esto el sistema tendrá una holgura de  $.1\text{m}^3/\text{h}$  que equivalen a  $26\text{G/h}$ .

Por lo tanto, se puede decir con seguridad que el sistema necesita de 3 celdas de decantación para su correcto funcionamiento.

---

<sup>23</sup> DA SILVA. José Oswaldo. Sistema para tratamiento de agua de ceniza de lavado de gases de calderas. Engenho Novo. p. 12.



#### **3.1.2.4. Maquinaria y equipo**

El sistema nuevo se complementa con maquinaria y equipo que hace funcionar todo en un conjunto sistemático de flujo de materia, se nombran los equipos que deben estar para su funcionamiento y definir cada uno de ellos.

##### **3.1.2.4.1. Celdas de decantación**

Fabricadas por láminas de ¼" de espesor hacen una figura de pirámide invertida truncada, que internamente serán las encargadas de decantar el agua de ceniza a una razón de 200 m<sup>3</sup>/h.

##### **3.1.2.4.2. Tanques**

Según su funcionalidad, serán varios tipos de tanques, uno de construcción gris y dos de lámina de acero al carbón básicamente serán los encargados de almacenar, según sea el momento del proceso, varios tipos de líquidos, desde agua de ceniza, lodos y agua tratada.

- Agua ceniza: Es el tanque de construcción gris que almacena el agua mezclada con bagazo mal quemado y minerales oriundos del suelo como arena y arcilla, extraída de las salidas de las calderas en funcionamiento del ingenio por medio de los ceniceros.
- Agua tratada: Es agua limpia que es almacenada en el tanque fabricado con lámina de acero al carbón para posterior traslado a las calderas por medio de las bombas de inyección, libre de partículas solidas, que han sido coaguladas y súbitamente decantadas a la parte inferior de cada celda, el agua limpia sale por gravedad de las celdas para el tanque de

agua limpia o agua tratada, donde es realizada la alimentación hacia los lavadores de las calderas.

- Lodo: Es el agua con floculante y sólidos decantados que se deposita en el tanque de lodos fabricado de lámina de acero al carbón que logro decantar impurezas pero que necesita ser trasladada hacia el filtro de colador rotativo nuevamente y llevado a todo el resto del sistema por gravedad, pasando por las celdas de decantación hasta llegar al tanque de lodo para ser enviado a un segundo filtrado en el colador rotativo y proseguir su proceso cíclico para culminar en la tolva de cachaza.
- Floculante: Es un polímero floculante utilizado en el proceso de decantación de ceniza y encargado de decantar todos aquellos sólidos que lograron pasar el filtro de colador rotativo, es un polielectrolito orgánico de alto peso molecular a base de poliacrilamida de característica catódica y con acción en pH entre 5 y 9.

Para dosificarlo, depende de la cantidad de sólidos en suspensión en el medio, debiendo ser determinada a través de pruebas específicas de floculación. Para la mayoría de los casos ya existen ciertos parámetros en el orden de 0.6 a 1.2 ppm, son suficientes para promocionar la completa floculación del material en suspensión.

#### **3.1.2.4.3. Conjunto de perfiles**

En la construcción de las estructuras, es necesario contar con metales aleados laminados y perfilados que hacen una característica propia de él, soporte de las celdas de decantación por medio de soldadura al arco, el tamiz rotativo y el equipo que complementa el sistema.

- Metálicos en L (angulares): Son perfiles metálicos de distintas dimensiones que hacen de él un soporte infraestructural en la construcción del sistema de lavado de cenizas.
- Metálicos para celdas: Vigas metálicas en forma de (I), son las encargadas de soportar grandes masas en compresión y deflexión, aportarán suficiente energía estática para el soporte de las celdas de decantación y mantener la distancia entre ellas, las hay de distintas dimensiones según sea la aplicación.
- Metálicos para Tolva, Tamiz, y Prensa: Para la tolva, tamiz y prensa desaguadora se debe formar una estructura metálica que sus bases principales son los metálicos en L o angulares, vigas en (I), láminas apoya pies, metálicos hembras, vigas en (C), debiendo formar una estructura lo suficientemente resistente para soportar estos equipos, esta forma en base al proveedor que es también su diseñador.

#### **3.1.2.4.4. Bombas**

Son dispositivos mecánicos hidráulicos que transforman la energía mecánica por medio de un impulsor rotatorio en energía cinética y potencial para poder conducir un fluido a lo largo de una tubería, este impulsor conformado de alabes, que algunos son llamados cerrados y otros llamados abiertos, y muchos otros cambian su diseño por el fluido que deben transportar.

- Centrifugas: En el sistema, se utilizarán 2 tipos de bomba:
  - Semi vortex. Será la encargada de transportar el agua de ceniza al sistema de filtrado y otra que transportará el lodo nuevamente al filtrado en la segunda etapa.
  - Cerrado: La que transportara el agua tratada del sistema de lavado de cenizas hacia las calderas nuevamente para la limpieza en los ceniceros y Scrubbers, llamada agua de inyección.
- Tornillo: Una bomba de tornillo es un tipo de bomba hidráulica considerada de desplazamiento positivo, está específicamente para bombear fluidos viscosos con altos contenidos de sólidos, que no necesiten removerse o que formen espumas si se agitan.
  - Tornillo helicoidal

Es un tipo de bomba que por sus características de tornillo helicoidal puede enviar el floculante a las celdas de decantación, ningún otro tipo de bomba puede enviar esta clase de líquido.

#### **3.1.2.4.5. Filtro tamiz rotativo**

Es una máquina destinada a la filtración o tamizado de líquidos en general con el objeto de realizar una separación sólido-líquido, se escoge este tipo de filtro por su característica de diseño de alto rendimiento y autolimpiante, capaz de operar durante largos periodos de tiempo sin necesidad de atención.

### 3.1.2.4.6. Prensa desaguadora

Es una máquina utilizada en la deshidratación de lodos, para posteriormente acondicionarlo de manera práctica en la tolva de cachaza.

### 3.1.3. Estudio financiero

Para la determinación del costo del sistema se tiene un inventario del equipo que se tendrá que instalar, este equipo se describe de la siguiente manera en la tabla IX representado con su costo individual, se debe tener en cuenta que estos costos varían en función del tiempo en que se pidan para su instalación y por la clase de proyecto tienen que prevenirse imprevistos por cambio en planes o materiales extras que se tienen que contemplar durante el proceso de construcción e instalación del sistema:

Tabla IX. Costo de material y equipo de sistema para tratamiento de agua de cenizas

Cantidad	Material o equipo	Costo unitario	Costo total
3	Celdas de decantación	Q55,456.00	Q166,368.00
1	construcción de tanque de agua de ceniza (obra civil)	Q88,055.60	Q88,055.60
1	construcción de tanque de agua tratada	Q3,500.00	Q3,500.00
1	construcción de tanque de lodo	Q2,500.00	Q2,500.00
360	pies de viga doble T o W 3/4" x 12" x 16"	Q65.30	Q23,508.00
580	pies de viga doble T o W 3/8" x 8" x 12"	Q56.60	Q32,944.00
1082	pies de vigas C 6" x 11.5"	Q42.10	Q45,552.20
205	pies de hembras 3/16" x 2"	Q4.84	Q992.20
489	pies de angulares 3/16" x 2 1/2"	Q10.45	Q5,110.05
980	pies de tubo de proceso 1 1/4"	Q6.19	Q6,066.20
24	laminas Expanding metal de 8" x 4"	Q26.73	Q641.52
40	pies de viga C 3" x 5"	Q7.38	Q295.20
240	pies de varillas corrugadas 1/2"	Q2.60	Q624.00
320	pies de varilla lisa de 3/8"	Q1.37	Q438.40
1416	pies cuadrados de lamina para tubería de traslado de agua de cenizas	Q33.93	Q48,044.88
10	codos de 20" acero al carbón cedula 40	Q2,463.44	Q24,634.40
7	codos de 16" acero al carbón cedula 40	Q783.35	Q5,483.45
1	codo de 14" acero al carbón cedula 40	Q187.50	Q187.50
3	codos de 6" acero al carbón cedula 40	Q187.50	Q562.50
5	codos de 4" acero al carbón cedula 40	Q75.89	Q379.45
1	válvula de compuerta de 20"	Q3,560.20	Q3,560.20
6	válvulas de compuerta de 6"	Q1,280.00	Q7,680.00
10	válvulas de compuerta de 4"	Q578.00	Q5,780.00
2	bombas semi-vortex para agua de ceniza con motor eléctrico	Q120,000.00	Q240,000.00
2	bombas semi-vortex para lodos con motor eléctrico	Q82,500.00	Q165,000.00
2	bombas cerradas para agua reciclada a calderas con motor eléctrico	Q78,000.00	Q156,000.00
2	bombas de tornillo helicoidal para floculante con motor eléctrico	Q62,500.00	Q125,000.00
1	filtro de tamiz rotativo con motor eléctrico	Q788,500.00	Q788,500.00
1	prensa desaguadora con sistema automático	Q1,004,300.00	Q1,004,300.00
	Total costo		Q2,951,707.75

Fuente: elaboración propia.

- Mano de obra: El costo de mano de obra para la construcción del sistema para tratamiento de agua de cenizas se contempla que se tenga que usar mano de obra extra a la que comúnmente se tiene en la temporada de reparación, el cual se describe de la siguiente manera y queda dentro del costo total del sistema:

- *Trabajadores \_a \_contratar :15 \_de \_lunes \_a \_viernes*  
*Salario \_individual : Q.108.00 \_con \_prestaciones / dia*  
*Dias \_para \_construccion : 6 \_meses ≈ 132 dias*  
*Por \_lo \_tanto :*  
*Horas \_hombre =# \_trabajadores\*# \_dias\*#horas/ dia*  
*Horas \_hombte = 15\*132\*9 = 17,820horas*  
*Costo \_total \_horas = horas \_hombre\* salario \_individual / horas \_dia*  
*Costo \_total \_horas = Q.213,840.00*

El cálculo para el costo total del sistema es la sumatoria del material y equipo y el costo total de horas hombre:

$$\text{Costo}_{\text{total}_{\text{instalacion}_{\text{sistema}}} = Q.2,951,707.75 + Q.213,840.00 = Q.3,165,547.75$$

### 3.1.3.1. Costos de operación y mantenimiento del proyecto

Dentro del costo de operación se toman en cuenta tres rubros básicos durante la temporada de zafra:

- Flocculante
  - $\text{Costo}_{\text{floculante}} = 30\text{Kg} / \text{día} * 150\text{días}_{\text{zafra}} * Q.45.00 / \text{Kg} = Q.202,500.00$

- Operadores

- $Costo\_operadores = 3\_operadores * Q.108 / día * 150 días = Q.48,600.00$

- Electricidad

- $Costo\_electricidad\_bombas = 205hp * .736Kwatt / hp * Q.0.80 / Kwatt / hr$   
 $Costo\_electricidad\_bombas = Q.120.704.00 / hr * 3600hrs$   
 $Costo\_electricidad\_bombas = Q.434,534.4$

Dentro del costo de mantenimiento se toma en cuenta un rubro durante la temporada de reparación:

- Mantenimiento de 8 bombas con motores eléctricos y 17 válvulas

- $Costo\_mantenimiento\_bombas = (Re\ puestos + Mo + insumos) * 8\_bombas$   
 $Costo\_mantenimiento\_bombas = (Q3,000.00 + 2días * Q.108.00 / día + Q.500.00) * 8$   
 $Costo\_mantenimiento\_bombas = Q3,716.00 * 8 = Q.29,728.00$   
 $Costo\_mantenimiento\_válvulas = (Re\ puestos + Mo + insumos) * 17\_válvulas$   
 $Costo\_mantenimiento\_válvulas = (Q.1,500.00 + 1día * 108.00 / día + Q.300.00) * 17$   
 $Costo\_mantenimiento\_válvulas = (Q.1908.00) * 17 = Q.32,436.00$

### 3.1.3.2. Beneficio-costos del proyecto

En el análisis de este numeral se deben de considerar varios aspectos importantes para el costo-beneficio, tomando como base la mejora de la eficiencia en el uso de los insumos de producción y los rendimientos.

El consumo del agua utilizada para la limpieza de las cenizas de las calderas y el rendimiento del agua, queriendo decir, se tendrá el mismo

volumen de agua limpiando varias veces las cenizas y gases de las calderas por medio del reciclaje del agua, reducción de costos, al dejar de usar bombas hidráulicas para la extracción del agua, obtención de mayores ganancias y se mejora la posibilidad de competir con mejores precios en mercados nacionales e internacionales porque se reduce el impacto ambiental, se mejora la imagen de la empresa y la eficiencia de los recursos, como ejemplo significativo se describe el beneficio de disminuir la extracción de agua de pozos.

- Beneficio de disminuir la extracción de agua de pozos
  - Se tendrá un porcentaje de ahorro de agua por zafra de:

$$\text{Consumo}_{\text{sin}_{\text{proyecto}}}_{\text{promedio}} = (542M^3 / \text{hr} + 580M^3 / \text{hr}) / 2 = 561M^3 / \text{hr}$$

$$\text{Consumo}_{\text{con}_{\text{proyecto}}} = \text{agua}_{\text{en}_{\text{celdas}}} + \text{agua}_{\text{en}_{\text{sistema}}} * 3 \text{ renovaciones}$$

$$\text{Consumo}_{\text{con}_{\text{proyecto}}} = (200M^3 + 10M^3) * 3 = 630M^3 / \text{zafra} \approx 6.25M^3 / \text{hr}$$

$$\%_{\text{de}_{\text{ahorro}}} = \left( \frac{561M^3 / \text{hr} - 6.26M^3 / \text{hr}}{561M^3 / \text{hr}} \right) * 100 = 98.88\%$$

El cálculo del costo de extracción de 2391 GPM de agua de pozos vistos en el numeral 3.1.2.3. pág. 92 es el siguiente:

Se tienen instaladas 2 bombas de 250 hp con 560GPM cada una en dos pozos ubicados dentro de las instalaciones del ingenio para un total de 1120GPM que abastecen el circuito de agua para el lavado de cenizas de las calderas, para ajustar los 2391GPM que necesita el sistema se apoyan con el ingreso de agua del río Guacalate.

Para fines monetarios se establece que el agua del río tiene el mismo costo que el de extracción de los pozos debido a la inyección de esta agua por



medio de 2 bombas de la misma capacidad y que si existe alguna sequía por parte del río entra en funcionamiento otra bomba de la misma capacidad que es agua destinada a otras áreas poniendo en riesgo la limpieza de la ceniza de las calderas y por lo tanto existe el riesgo de una baja en la producción de vapor porque la caldera se vuelve ineficiente al momento de una falta de limpieza y afecta directamente a la generación de energía eléctrica.

$$\text{Costo}_{\text{extraccion\_de\_agua}} = (\text{potencia}_{\text{bomba}} * \text{Costo}_{\text{hora}} * \text{temporada}_{\text{zafra}}) * 2_{\text{bombas}}$$

$$\text{Costo}_{\text{extraccion\_de\_agua}} = (250_{\text{hp}} * .736_{\text{Kwatt}} * Q.0.80 / \text{Kwatt} / \text{hr} * \text{temporada}_{\text{zafra}}) * 2$$

$$\text{Costo}_{\text{extraccion\_de\_agua}} = (Q.146.00 / \text{hr} * 3,600_{\text{hrs}}_{\text{zafra}}) * 2$$

$$\text{Costo}_{\text{extraccion\_de\_agua}} = (Q.526,600.00) * 2 = Q.1,051,200.00$$

Para extraer 1 120 GPM se tiene un costo de Q. 210,240.00, para alcanzar la demanda de 2 391GPM de las calderas existe una diferencia de 1 271 GPM el cual se tiene que cubrir con un costo de:

$$\text{Costo}_{\text{de\_diferencia}} = \frac{\text{Costo}_{\text{galones\_extraidos}} * \text{diferencia}_{\text{galones\_extraidos}}}{\text{Galones}_{\text{extraidos}}}$$

$$\text{Costo}_{\text{de\_diferencia}} = \frac{Q.1,051,200.00 * 1271_{\text{GPM}}}{1120_{\text{GPM}}} = Q.1,192,924.30$$

El costo de mantenimiento de las bombas de extracción de agua y sus válvulas es de:

$$\text{Costo}_{\text{mantenimiento}_{\text{bombas}}} = (\text{Re}_{\text{puestos}} + \text{Mo} + \text{insumos}) * 4_{\text{bombas}}$$

$$\text{Costo}_{\text{mantenimiento}_{\text{bombas}}} = (Q3,000.00 + 2_{\text{días}} * Q.108.00 / \text{día} + Q.500.00) * 4$$

$$\text{Costo}_{\text{mantenimietno}_{\text{bombas}}} = Q3,716.00 * 4 = Q.14,864.00$$

$$\text{Costo}_{\text{mantenimiento}_{\text{válvulas}}} = (\text{Re}_{\text{puestos}} + \text{Mo} + \text{insumos}) * 4_{\text{válvulas}}$$

$$\text{Costo}_{\text{mantenimiento}_{\text{válvulas}}} = (Q.1,500.00 + 1_{\text{día}} * 108.00 / \text{día} + Q.300.00) * 4$$

$$\text{Costo}_{\text{mantenimiento}_{\text{válvulas}}} = (Q.1908.00) * 4 = Q.7,632.00$$

El costo por obtener el agua de los pozos, el río Guacalate y costo de mantenimiento es de:

$$\text{Costo}_{\text{agua}} = \text{Costo}_{\text{extracción}_{\text{agua}}} + \text{Costo}_{\text{de}_{\text{diferencia}}} + \text{costo}_{\text{mantenimiento}}$$

$$\text{Costo}_{\text{agua}} = Q.1,051,200.00 + Q1,192,924.30 + Q14,864 + Q.7,632 = Q.2,266,620.30$$

- Beneficio Costo de operación: Se puede decir que por dejar de usar las bombas durante la temporada de zafra al tener el proyecto operando se tendrá una reducción de costos, comparado con el costo de operación del proyecto que es de Floculante, operadores y electricidad se tiene el cálculo siguiente, utilizando el mismo volumen de agua reciclada:

$$\text{Costo}_{\text{operación}_{\text{y}_{\text{mantto}}}_{\text{proyecto}}} = \text{floculante} + \text{operadores} + \text{electricidad} + \text{bombas} + \text{valvulas}$$

$$\text{Costo}_{\text{operación}_{\text{y}_{\text{mantto}}}_{\text{proyecto}}} = Q.202,500.00 + Q.48,600.00 + Q.434,534.4 + Q.29,728.00 + Q.32,436.00$$

$$\text{Costo}_{\text{operación}_{\text{y}_{\text{mantto}}}_{\text{proyecto}}} = Q.747,798.40$$

Por lo tanto el costo sin proyecto:

$$\text{Costo}_{\text{operación}_{\text{sin}_{\text{proyecto}}}} = Q.2,266,620.30$$

Beneficio-Costo de la operación:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficios}_{\text{proyecto}}}{\text{Costos}_{\text{proyecto}}} = \frac{\text{Costo}_{\text{operación}_{\text{sin}_{\text{proyecto}}}}}{\text{Costo}_{\text{operación}_{\text{y}_{\text{mantto}}}_{\text{proyecto}}}}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{Q.2,266,620.3}{Q.747,748.4} = 3.03$$

Concluyendo un beneficio con ganancias a largo plazo de 3.03, dato que indica que el costo de operación del proyecto si es rentable y sostenible y se llegarán a obtener ganancias en la operación.

- Beneficio-Costo del proyecto: En este análisis se deben de tomar en cuenta todos los costos estimados por instalación del proyecto que consisten en:
  - Costo de material y equipo: Q.2,951,707.75
  - Costo de mano de obra: Q.213,840.00
  - Costo de operación y mantenimiento: Q.747,798.4
  - Beneficio de evitar extracción de agua: Q.2,266,620.30

Estos costos son anualmente, excepto el costo de material y equipo y mano de obra porque están como valor presente, para obtener el indicador de costo beneficio se debe de trasladar el valor presente a un valor anual como el resto de los costos, para ello se considera una tasa de interés de mercado del 6.0% a 20 años:

$$VA = P \left( \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) = (Q.2,951,707.75 + Q.213,840.00) \left( \frac{0.06(1+0.06)^{20}}{(1+0.06)^{20} - 1} \right)$$

$$VA = Q.275,986.87$$

Para obtener el dato de costo beneficio del proyecto se calculó de la siguiente manera:

$$\frac{B}{C} = \frac{\textit{beneficios}}{\textit{valor\_inicial} + \textit{Costo\_operación\_y\_mantto}}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{Q.2,266,620.3}{Q.275,986.87 + Q.747,798.40} = 2.21$$

Según el indicador de beneficio-costo es recomendable hacer la inversión ya que por mucho rebasa el ahorro esperado por el sistema de lavado de cenizas y gases en función del costo del agua, también el proyecto es sostenible para una producción más limpia.

Es de hacer énfasis que este tipo de proyecto es para incentivar la producción de azúcar, bajo un alto nivel de eficiencia que permita reducir los costos de producción y operación al promover un uso eficiente de agua, energía y otros insumos, incrementando también la competitividad al proponer tecnologías limpias e innovadoras.

### **3.1.3.3. El Valor Presente Neto**

Para la toma de una correcta decisión sobre inversiones se toman en cuenta los siguientes criterios del Valor Presente Neto.

- $VPN < 0$ , hay que tener cuidado con la inversión porque no se puede recuperar lo esperado.
- $VPN = 0$ , puede recuperarse la inversión y lograr hacer utilidades.
- $VPN > 0$ , se recupera totalmente la inversión y las utilidades pueden ser grandes.

Para ello se toman las siguientes cantidades monetarias para una evaluación de 5 años en el flujo de efectivo (Ver tabla XI) y evaluar el VPN tomando en cuenta los siguientes rubros (Ver tabla X) extraídos de los costos actuales de la pagina 98.

Tabla X. **Rubros del flujo de caja**

Rubro	Descripcion	Montos
Inversion	Consta de materiales, equipo y mano de obra para el montaje	Q. 2,951,707.75 + Q. 213,840.00
ingresos	No se cuenta con ingresos debido a ser un proyecto de desarrollo sostenido	Q. 00.00
beneficios	Se toma en cuenta el beneficio de no extraer agua	Q. 2,266,620.30
costos fijos	Costos de operación por temporada zafra	Q. 202,500.00 + Q.48,600.00 + Q.434,534.40
costos variables	Costos de mantenimiento por temporada de reparacion con un incremento del 10% anual	Q. 29,728.00 + Q. 32,436.00
Valor de rescate	Valor unico de rescate con una depreciacion del 20%	Q. 1,186,225.14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Flujo de caja para 5 años**

	año	0	1	2	3	4	5
<b>VALOR ACTUAL NETO y TIR</b>	Inversion	Q3,165,347.75					
	ingresos		Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
	beneficios		Q2,266,620.30	Q2,266,620.30	Q2,266,620.30	Q2,266,620.30	Q2,266,620.30
	costos fijos		Q685,634.40	Q685,634.40	Q685,634.40	Q685,634.40	Q685,634.40
	costos variables		Q62,164.00	Q62,785.64	Q63,413.50	Q64,047.63	Q64,688.11
	Valor de rescate						Q1,186,225.14
	valor neto	-Q3,165,347.75	Q1,518,821.90	Q1,518,200.26	Q1,517,572.40	Q1,516,938.27	Q2,702,522.94

Fuente: elaboración propia.

Para la generación del VPN se considera la tasa de descuento o TREMA por ser capital propio del 5% por consultas realizadas en el mercado financiero, para esta tasa y tomando en cuenta los valores del flujo de caja se resuelve como sigue.

$$\begin{aligned}
 VPN &= \sum_{t=1}^n \frac{\text{flujo\_de\_ingresos} - \text{flujo\_de\_egresos}}{(1+i)^t} - \text{Inversion\_inicial} \\
 VPN &= \frac{Q2,266,620.30 - Q747,798.40}{(1+5\%)^1} + \frac{Q2,266,620.30 - Q748,420.04}{(1+5\%)^2} + \\
 &\quad \frac{Q2,266,620.30 - Q749,047.90}{(1+5\%)^3} + \frac{Q2,266,620.30 - Q749,682.03}{(1+5\%)^4} + \\
 &\quad \frac{Q3,452,845.44 - Q750,322.51}{(1+5\%)^5} - Q3,165,347.75 \\
 VPN &= Q4,334,624.09
 \end{aligned}$$

De esta forma se aprecia que el análisis de Valor Presente Neto que genera un valor positivo valuado con la tasa de descuento actual del 5%, ahora para la rentabilidad del proyecto se debe de comparar con la tasa interna de retorno como sigue en el siguiente numeral.

### 3.1.3.4. La Tasa Interna de Retorno

Se considera el criterio del Valor Presente Neto igual a cero para así determinar la tasa que permite el flujo actualizado ser cero<sup>24</sup>.

$$\begin{aligned}
 VPN &= \sum_{t=1}^n \frac{\text{flujo\_de\_ingresos} - \text{flujo\_de\_egresos}}{(1+r)^t} - \text{Inversion\_inicial} = 0 \\
 VPN &= \frac{Q2,266,620.30 - Q747,798.40}{(1+r)^1} + \frac{Q2,266,620.30 - Q748,420.04}{(1+r)^2} + \\
 &\quad \frac{Q2,266,620.30 - Q749,047.90}{(1+r)^3} + \frac{Q2,266,620.30 - Q749,682.03}{(1+r)^4} + \\
 &\quad \frac{Q3,452,845.44 - Q750,322.51}{(1+r)^5} - Q3,165,347.75 = 0
 \end{aligned}$$

*Despejando para r = 43%*

<sup>24</sup> SAPAG CHAIN, Nassir. SAPAG CHAIN, Reinaldo. Preparación y evaluación de proyectos, segunda edición McGraw-Hill Interamericana de México. S.A. 1991. 345 p.

Encontrando la Tasa Interna de Retorno que es del 43% y la tasa de descuento es del 5% se deduce que el proyecto es altamente rentable.

Aun así se pueden mencionar algunos aspectos de beneficio indirecto que puede generar el proyecto a la producción de azúcar como son:

- Se reduce la energía en producción y se aprovecha en otros procesos
- Un ahorro significativo del uso de agua en la limpieza de cenizas y gases y utilizarlo en otros procesos para minimizar el esfuerzo de obtención del agua.
- Preparación para el cumplimiento de normas ambientales
- Reducción de la tasa de uso de recursos naturales
- La protección del medio ambiente

A largo plazo la empresa se beneficiará con la operación del proyecto.

## **4. FASE ENSEÑANZA APRENDIZAJE. CAPACITACIÓN PARA USO DE HORNO DE FUNDICIÓN DE BABBIT**

La fase de enseñanza consta de la capacitación de la operación del horno de fundición de babbitt, para que el personal a cargo este comunicado y entrenado teóricamente del equipo.

### **4.1. Plan de capacitación**

El equipo (horno de fundición) formará parte de la herramienta del taller mecánico, se considera tomar en cuenta al personal del taller mecánico para la capacitación, este es proceso fundamental para alimentar los conocimientos técnicos del personal operativo dentro del grupo, que constan de, tornero de segunda, tornero de primera, tornero especializado, soldador de primera y especializado, que en numero respectivamente son 2, 14, 4, 1,1, basándose en el diseño del horno y su funcionalidad que tendrá dentro de los departamentos de molinos, calderas y turbinas.

Para la planificación de la capacitación se consideran aspectos como el tiempo disponible del personal, tiempo por requerimiento de piezas a fabricar o reparar, temas a impartir y cuantas sesiones necesarias serán por el número del grupo que se le dará la sesión.

#### **4.1.1. Creación de unidades**

Las unidades ayudan a crear una idea clara de que programación hacer y la secuencia que se tiene que seguir para que el personal a capacitar no pierda

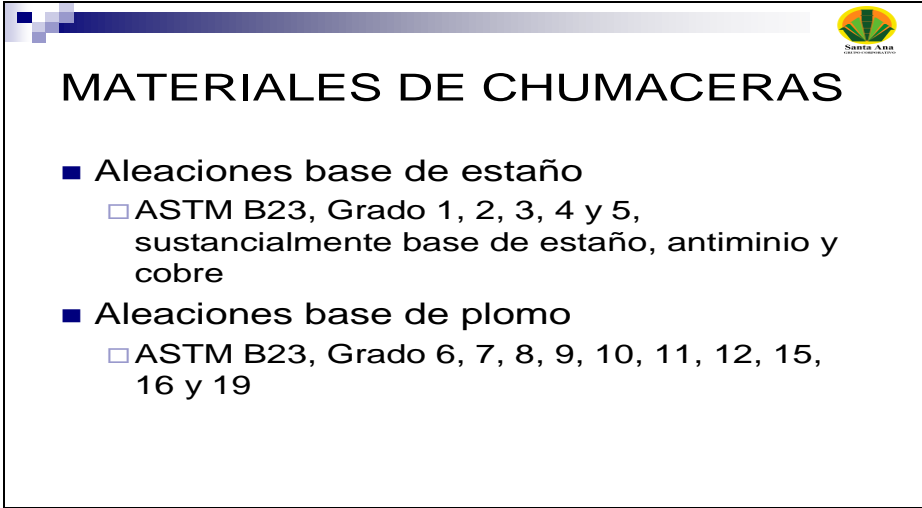


atención del tema principal. Ayudan a ver que tanto saben del tema y los imprevistos que se pueden sobrevenir durante la capacitación.

- Fundamentos sobre metales antifricción: Se incluyen los metales conocidos comercialmente que funcionan como cojinetes de superficie plana de borde o conocidos como chumaceras (esta diferencia de nombre se hace saber al personal), también las propiedades y características que debe de tener el metal para poder hacer su trabajo.

Para dar a conocer al personal los fundamentos sobre metales se utilizaron la siguientes diapositivas, (ver figuras 49, 50 y 51).

Figura 49. **Materiales de chumaceras**




The slide features a blue header bar with a logo on the right that says 'Santa Ana'. The main title is 'MATERIALES DE CHUMACERAS'. Below the title, there are two main bullet points, each with a sub-bullet point. The first main bullet point is 'Aleaciones base de estaño' and the second is 'Aleaciones base de plomo'. The sub-bullet points list ASTM B23 grades: 1, 2, 3, 4, 5 for the tin-based alloys and 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 19 for the lead-based alloys.

**MATERIALES DE CHUMACERAS**

- Aleaciones base de estaño
  - ASTM B23, Grado 1, 2, 3, 4 y 5, sustancialmente base de estaño, antimonio y cobre
- Aleaciones base de plomo
  - ASTM B23, Grado 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16 y 19

Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Grados babbit




## MATERIALES DE CHUMACERAS

Grado	composición, %					Compresión de límite de fuerza		Dureza Brinell	
	Sn	Sb	Pb	Cu	As	68° F Lb/in²	20° C Mpa	68° F (20°C)	212° F (100° C)
2	89.0	7.5	0.4	3.5	--	14.9	103.0	24.5	12.0
3	84.0	8.0	0.4	8.0	--	17.6	121.0	27.0	14.5

- Cuando se habla de material para chumacera de base de estaño no quiere decir que la aleación no contenga plomo, según esta tabla extraída del manual del ingeniero mecánico y la norma ASTM B23 si contiene en un .4% de la masa

Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Grados babbit en el taller



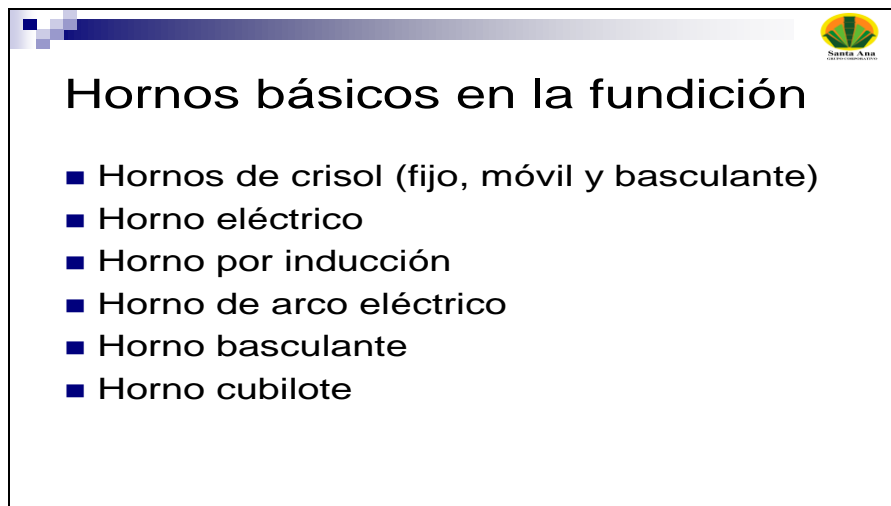
## GRADOS DENTRO DEL TALLER

- Grado 2
  - Grado para altas revoluciones y baja carga, ejemplo, ejes de tiro inducido en calderas.
- Grado 3
  - Grado para bajas revoluciones y alta carga, ejemplo, ejes de reductores de baja de molinos

Fuente: elaboración propia.

- Fundamentos básicos sobre hornos de fundición: Se les da a conocer los distintos tipos de hornos de fundición de metales que habitualmente se utilizan para este procedimiento de manera básica, (ver figura 52).

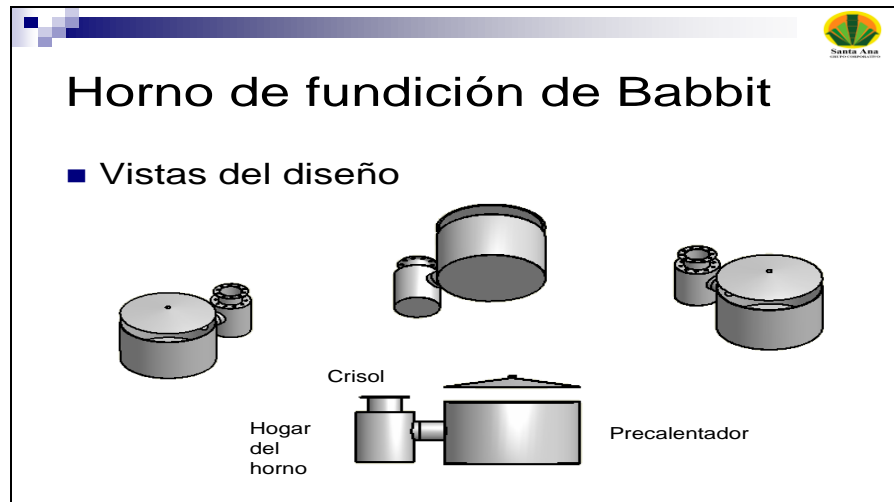
Figura 52. **Hornos básicos en la fundición**



Fuente: elaboración propia.

- Conocimientos sobre horno de fundición de babbit: En esta parte de la capacitación es donde se les da a conocer el diseño que tendrá el horno, su funcionalidad, sus partes, y la capacidad que tiene para fundir el metal, de esta manera el personal estará familiarizado con la forma del horno, (ver figura 53).

Figura 53. **Diseño esquemático del horno**




Fuente: elaboración propia.

- Procedimientos de operación del horno: Para que la operación del horno esté de acuerdo al diseño, se les instruye con un procedimiento que deben de cumplir, así también, las variables que deben de manejar en la operación, (ver figura 54 y 55).

Administrativamente deben de cumplir un procedimiento, el cual también se les instruye, como también al jefe de taller mecánico que participa en esta capacitación siendo él, encargado de administrar las órdenes de trabajo que los torneros deben cumplir en su jornada laboral.

Figura 54. **Procedimiento de operación**




## Procedimiento de operación

- Eliminación de la capa gastada de Babbit de la bancada
- Limpieza, desengrase y preparación de la bancada
- Recolección de Babbit nuevo y usado
- Equipo de protección personal (EPP)

Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Procedimiento de operación para fundición**



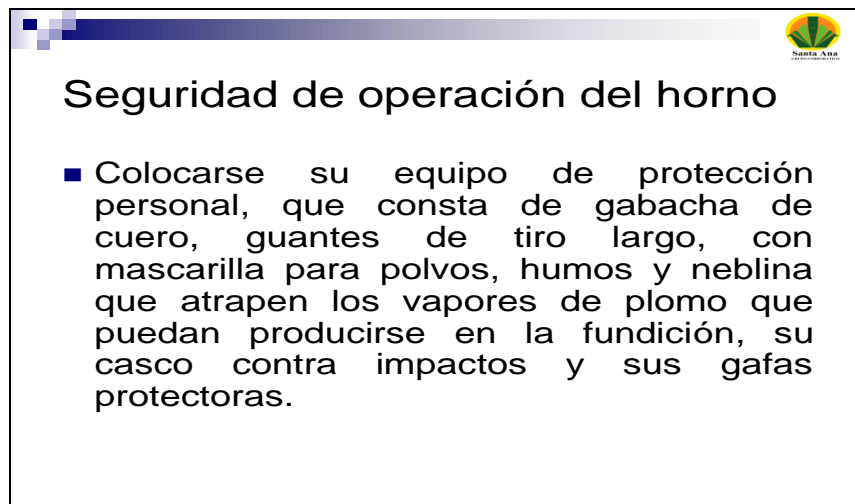
## Procedimiento de operación

- Precalentamiento del Horno
- Derretido del Babbit
- Precalentamiento de la Bancada
- Vertido del Babbit

Fuente: elaboración propia.

- Seguridad de operación del horno: Contiene un resumen de todas las precauciones que deben de tomar y los riesgos que corren por no seguir los pasos sugeridos, (ver figura 56).

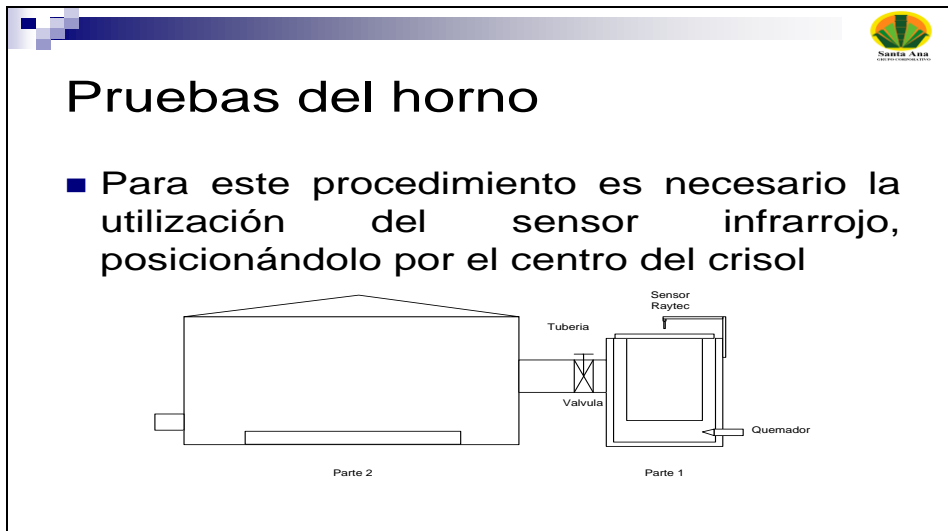
Figura 56. **Seguridad de operación**



Fuente: elaboración propia.

- Pruebas del horno : Como parte del funcionamiento del horno se deben de llevar pruebas de encendido antes de que haga su trabajo, el cual se les instruye también para hacer esta parte del procedimiento, (ver figura 57).

Figura 57. Prueba del horno




Fuente: elaboración propia.

- Mantenimiento del horno

El equipo es una nueva herramienta que el taller mecánico tendrá, el cual no está libre de mantenimiento, el grupo del taller es instruido para hacer la parte del mantenimiento, el cual se les explica en dos diapositivas para que el concepto sea aplicado, (ver figuras 58 y 59).

Figura 58. **Mantenimiento del horno**




## Mantenimiento del horno

- El mantenimiento del horno se hará cada vez que se utilice, para que el costo del mantenimiento del horno se reduzca por cada función que tenga.
- Es una inspección visual, auditiva, de olor y táctica.

Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Mantenimiento correctivo del horno**



## Mantenimiento del horno

- Cuando sea un mantenimiento correctivo, como por ejemplo, el cambio del refractario, se coordinara con el equipo de obra civil para que se cambie el refractario que esta en mal estado.
- El mantenimiento del quemador se efectuara también con cada encendido del horno, esto es por el hollín generado.

Fuente: elaboración propia.



#### **4.1.2. Plan de trabajo**

Se consideró la solicitud de capacitación dentro del departamento de recursos humanos en la sección de capacitación y desarrollo para que apoyaran con material didáctico y el préstamo del auditorium del departamento dentro de la misma empresa. A la vez programar el día y la hora que puede efectuarse la capacitación tomando en cuenta la disponibilidad de los trabajadores que serán capacitados.

Plantear los contenidos que serán impartidos por mi persona y los objetivos que se persiguen con la culminación de la capacitación de operación de un horno de fundición de babbit.

##### **4.1.2.1. Programación**

Para que la capacitación del horno de fundición de babbit sea lo más personalizada posible, por motivos que estarán en contacto con altas temperaturas se diseño de la siguiente forma:

- Serán formados dos grupos conformado por 11 cada uno conformado de operadores de torno y soldadores para el fácil entendimiento e interacción con la mayor parte posible.
- A cada grupo se les pasará un test de preguntas antes de iniciada la capacitación para saber que es lo que conocen del tema por último y haber sido capacitados se les hará llegar otro test para obtener información de que tanto fue lo que pudieron absorber de los temas propuestos.

- Se calcula que por cada grupo se absorberá un tiempo promedio de tres horas hábiles laborales.

#### **4.1.3. Metodologías**

La capacitación es un proceso colectivo de discusión y reflexión que busca durante su desarrollo enriquecer el conocimiento individual, aumentando la confianza, el desarrollo individual y potenciar el colectivo, como mi persona fue el que diseño el horno, también se estará desarrollando los temas y explicando cualquier duda que tenga el grupo por capacitarse.

La metodología se dividió en dos partes, primero, exposiciones interactivas y explicativas, segundo, práctica para los temas que aplicaron el uso de este método, permitiendo al participante relacionar los temas expuestos y aprendidos con ejemplos propios de ellos aplicados a la empresa. Orientado el proceso de capacitación en incrementar sus capacidades operativas de análisis e innovación así como las destrezas técnicas requeridas para responder con éxito a los retos que plantea el desarrollo de su actividad.

Las actividades de capacitación se realizaron en el salón auditorium ubicado en las instalaciones de la empresa que durante la capacitación se utilizó material didáctico, escrito y audiovisual elaborado por el equipo de capacitación de la división de recursos humanos para facilitar la adquisición de conocimientos y habilidades en el proceso de capacitación.

## **4.2. Plan específico**

Para que una capacitación sea según su objetivo, fortalecer todas las habilidades y destrezas, se ponen en práctica tres capacitaciones que son una herramienta básica para el cumplimiento de tal objetivo.

### **4.2.1. Capacitación afectiva**

Esta capacitación se considera como introductoria motivacional, porque se conoce al personal, me doy a conocer, y se cuales son los objetivos que ellos persiguen con la capacitación, también es el momento adecuado para hacerle saber al personal que debe interactuar con lo que se explica y que no hay ningún problema con las consultas que puedan surgir en determinado momento del desarrollo del tema.

### **4.2.2. Capacitación cognoscitiva**

Se emplearan métodos como el aprendizaje durante el tiempo de observación llevado a cabo para el levantamiento de datos, para de alguna manera explicar con palabras no técnicas pero a la vez dar la introducción a la jerga técnica de ingeniería que ellos mismos deben de usar para incrementar su desarrollo personal. Con esta metodología se conseguirá encajar el conocimiento teórico de los temas que se pretende brindarle y también que ellos formulen sus dudas al respecto.

### **4.2.3. Capacitación psicomotriz**

Capacitación donde se formulan preguntas que se hacen llegar al personal para promover un estímulo de respuesta por parte de ellos, al mismo tiempo,

cuando una pregunta sea contestada en un cierto porcentaje se regresará a la capacitación cognoscitiva para fortalecer la debilidad que pudiera tener la respuesta.

### **4.3. Resultados**

Para verificar el aprendizaje del equipo de trabajo de estudio en la capacitación, del nuevo equipo en el taller mecánico, es necesario hacer una evaluación que haga constar hasta donde llegó el alcance de dicha capacitación. Para ello se realizan dos pruebas o exámenes que avalan el aprendizaje, el teórico y práctico.

#### **4.3.1. Examen teórico**

Consta de 10 preguntas de subrayado y 2 preguntas de criterio por parte del personal capacitado.


#### **4.3.2. Examen práctico (oral)**

Examen practicado cuando se está desarrollando la capacitación como estímulo de atención hacia la presentación.

Se les proporciona una serie de preguntas como:

- ¿Qué piensa de este procedimiento?
- ¿Qué haría usted si se perdiera poder calorífico?
- ¿Utilizaría un equipo donde hay riesgo de quemadura?

Tabla XII. Evaluación teórica

 Santa Ana	Fecha: ___ / ___ / ___
<b>EVALUACIÓN TORICA</b> DEPARTAMENTO DE CAPACITACIÓN Y DESARROLLO TEMA: HORNO DE FUNDICION DE BABBIT ELABORADO POR: CARLOS AVALOS	
Instrucciones: subraye y conteste la respuesta correcta	
Nombre: _____ Código: _____	
<ol style="list-style-type: none"><li>1. El revestimiento utilizado para la fabricación de chumaceras a base de estaño están los siguientes grados.<ol style="list-style-type: none"><li>a) Grados del 1 al 5</li><li>b) Grados del 7 al 12 y 15, 16, y 17</li><li>c) Todos los grados anteriores son correctos</li></ol></li> <li>2. El grado 2 utilizado para la fabricación de chumaceras es para:<ol style="list-style-type: none"><li>a) Bajas revoluciones y alta carga</li><li>b) Altas revoluciones y baja carga</li><li>c) Cargas mixtas con baja carga</li></ol></li> <li>3. Para la fundición de Babbit en el horno de crisol móvil, ¿qué crisol es el adecuado?<ol style="list-style-type: none"><li>a) Crisol de material grafito</li><li>b) Crisol de acero al carbono</li><li>c) Crisol de carburo de silicio</li></ol></li> <li>4. Dentro de las características del crisol están<ol style="list-style-type: none"><li>a) Ductilidad</li><li>b) Orificios de pase de gases</li><li>c) Longevidad</li></ol></li> <li>5. El horno de fundición de Babbit por su naturaleza está constituido por dos partes que son:<ol style="list-style-type: none"><li>a) Hogar del horno y crisol</li><li>b) Precalentador y hogar del horno</li><li>c) Válvula y tobera</li></ol></li> <li>6. La forma de calentamiento del horno que da las propiedades caloríficas es por medio de:<ol style="list-style-type: none"><li>a) Diesel</li><li>b) Oxiacetilénico</li><li>c) Resistencias eléctricas</li></ol></li></ol>	

## Continuación de la tabla XII

<p>7. Las tres formas de funcionamiento del horno son:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) Válvula cerrada, válvula semicerrada, válvula abierta</li><li>b) Válvula cerrada, válvula abierta, horno sin crisol</li><li>c) Respuestas a) y b) son correctas</li></ul>
<p>8. Para la seguridad de operación del horno es recomendable utilizar:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) Gabacha de vinil, guantes de látex,</li><li>b) Gabacha de cuero, guantes de tiro largo y mascarilla para polvos</li><li>c) Traje antirradiación, casco, guantes de tiro largo y mascarilla</li></ul>
<p>9. La utilización del sensor de temperatura por su naturaleza de funcionamiento tiene que posicionarse en:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) El centro del crisol</li><li>b) A un cuarto del crisol</li><li>c) Fuera del hogar del horno</li></ul>
<p>10. El momento adecuado para el mantenimiento es cada vez que se utilice por medio del método de:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) Visual, auditiva, de olor y táctica</li><li>b) Predictivo</li><li>c) Preventivo</li></ul>
<p>11. Mencione con sus palabras el procedimiento que debe de emplearse para la utilización del nuevo equipo.</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
<p>12. ¿A su criterio, cuando la colada del Babbit no se vea homogénea debe colocarle una llama directa?</p> <p style="text-align: center;">Si            No</p>

Fuente: elaboración propia.

#### **4.4. Seguimiento y mejora**

Como todo equipo nuevo en funcionamiento, se necesita verificar en condiciones de trabajo reales como funciona e interactúa con el personal del taller mecánico, luego de esto, por medio de un proceso sistémico de análisis de procedimiento, retroalimentar al personal del taller mecánico acerca las dudas que surjan en los momentos de su utilización, consecuentemente, reunir al personal para una nueva capacitación.

## CONCLUSIONES

1. Se diseñó y se propuso para su fabricación el diseño de un horno de fundición de babbit con base en un desarrollo de cálculos geométricos y capacidades para beneficiar las propiedades del metal antifricción babbit.
2. Se practicó por el método experimental tres posiciones para obtener el mejor rendimiento de dirección de calentamiento al crisol, el cual se obtuvo un tiempo de calentamiento de 9.5 min y una temperatura de 487.2° C para incluirlo dentro del proceso a proponer, evidenciando el menor tiempo para su aplicación.
3. Reducción considerable de los tiempos, y costos de operación con el diseño del horno.
4. Se determinó el tamaño óptimo del sistema de tratamiento de agua de cenizas de lavado de gases por medio del estudio técnico de un proyecto.
5. La instalación del sistema de tratamiento de agua de cenizas de lavado de gases de calderas se determinó que obtiene un beneficio-costo inferior al sistema de inyección agua que hace de este un sistema de desarrollo sostenible amigable con el ambiente.
6. Por medio de una estrategia de producción más limpia se puede invertir en proyectos innovadores que a la vez son rentables para la empresa.





## RECOMENDACIONES

1. En la parte de la planificación estratégica de la empresa falta concretar y definir la misión y visión que sean acordes a los requisitos de la misma.
2. Con la implementación del horno de fundición de babbit para chumaceras se pueden tener ahorros en el costo de operación de la fundición debido a la reducción de tiempo y la técnica empleada.
3. Capacitar al personal colaborador con el uso del horno con base a hallazgos de la operación como acción correctiva a cualquier imprevisto no tomado en cuenta en este diseño.
4. Creación de indicadores que permitan caracterizar el desempeño del proyecto como el consumo de agua, energía, y los residuos generados del mismo para que se puedan establecer otras opciones de mejora dentro del proceso, como por ejemplo se puede considerar un cambio porcentual de agua consumida por producción de vapor.

$$\Delta\% = \frac{\textit{Agua _ consumida}}{\textit{producción _ de _ vapor}} * 100 =$$

$$\Delta\% = \frac{m^3 / (lb \_ vapor / hr) \textit{mes _ actual} - m^3 / (lb \_ vapor / hr) \textit{mes _ anterior}}{m^3 / (lb \_ vapor / hr) \textit{mes _ anterior}} * 100$$



## BIBLIOGRAFÍA

1. DA SILVA, José Oswaldo. *Sistema para tratamiento de agua de ceniza de lavado de gases de calderas*. Engenho Novo, memoria técnica ATACA, 2002. 12 p.
2. FAYE C. MCQUINSTON. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado, análisis y diseño*. México: Limusa Wiley, 2002. 194 p.
3. *GPM Goulds Pumps Manual 60 Hz*. New york: Seneca Falls. Goulds Pumps, 2009. 375 p.
4. HAMROCK, B.J.; JACOBSON, B.; SCHMID, S.R. *Elementos de Máquinas*, México: McGraw-Hill, 2000, 275 p.
5. *Manual de usuario y características técnicas*. Raytec a fluye company, 04/2006. 12 p.
6. THEODORE, EUGENE. *Manual del Ingeniero Mecánico*. Mexico: McGraw-Hill, 2005. 58 p.
7. MERINO, Arturo; BAQUERO José Fernando. *Chumaceras hidrodinámicas en turbomaquinaria*. Seminario de maquinaria para la industria azucarera. 2000. 12 p.
8. *Misión del Ingenio Santa Ana*. Revista Notiazúcar. División de recursos humanos. Departamento de capacitación y desarrollo. 1994. 6 p.

9. ORDÓÑEZ, Stella. *Técnicas experimentales en metalurgia*. Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Ingeniería metalúrgica. 2002. 36 p.
10. *Política de Calidad del Ingenio Santa Ana*. Manual de Calidad. Gestión de Control, (1):1. 2007. 2 p.
11. SAPAG CHAIN, Nassir; SAPAG CHAIN, Reinaldo. *Preparación y evaluación de proyectos*. 2da ed. Mexico: McGraw-Hill, 1991. 345 p.
12. SYDNEY H., Avner. *Introducción a la metalurgia*. 2da ed. México: McGraw-Hill, 2000. 370 p.
13. Refractarios Nacionales. *Thermal Ceramics Centroamericana*. Guatemala: Moldeables Refractarios, 2004. 2 p.
14. TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. Guatemala: Facultad de ingeniería, 2004. 140 p.
15. Ingenio Santa Ana. Manual de inducción a la corporación: *Visión del ingenio*. Guatemala: Ingenio Santa Ana, División de recursos humanos. Departamento de capacitación y desarrollo. 1994. 6 p.