



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

**DISEÑO DE UN COLECTOR TIPO CICLÓN DE HOLLÍN PARA LAS
CHIMENEAS DE LAS CALDERAS Y PLAN DE CONTINGENCIA PARA LA
EMPRESA PRODUCTOS ALIMENTICIOS CENTROAMERICANOS, S. A.**

Willy Leonel Valiente López

Asesorado por el Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel

Guatemala, julio de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN COLECTOR TIPO CICLÓN DE HOLLÍN PARA LAS
CHIMENEAS DE LAS CALDERAS Y PLAN DE CONTINGENCIA PARA LA
EMPRESA PRODUCTOS ALIMENTICIOS CENTROAMERICANOS, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

WILLY LEONEL VALIENTE LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. JAIME HUMBERTO BATTEN ESQUIVEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

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

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE UN COLECTOR TIPO CICLÓN DE HOLLÍN PARA LAS CHIMENEAS DE LAS CALDERAS Y PLAN DE CONTINGENCIA PARA LA EMPRESA PRODUCTOS ALIMENTICIOS CENTROAMERICANOS, S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha mayo de 2011.



Willy Leonel Valiente López



Guatemala, 24 de abril de 2012.
REF.EPS.DOC.616.04.12.

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, **Willy Leonel Valiente López**, Carné No. **200615034** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO DE UN COLECTOR TIPO CICLÓN DE HOLLIN PARA LAS CHIMENEAS DE LAS CALDERAS Y PLAN DE CONTINGENCIA PARA LA EMPRESA PRODUCTOS ALIMENTICIOS CENTROAMERICANOS, S.A.”**.

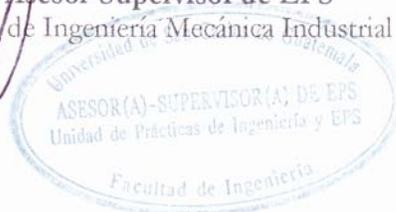
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


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



/ra



Guatemala, 24 de abril de 2012.
REF.EPS.D.441.04.12

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 COLECTOR TIPO CICLÓN DE HOLLIN PARA LAS CHIMENEAS DE LAS CALDERAS Y PLAN DE CONTINGENCIA PARA LA EMPRESA PRODUCTOS ALIMENTICIOS CENTROAMERICANOS, S.A.”** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Willy Leonel Valiente López** 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 y 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 Serrano
Directora Unidad de EPS



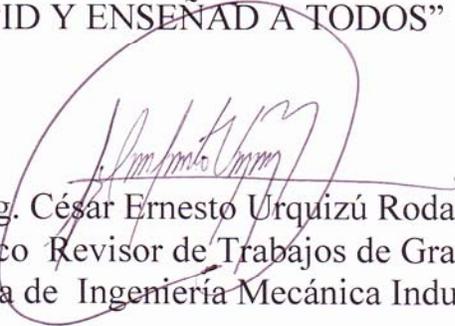
NISZ/ra



REF.REV.EMI.075.012

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN COLECTOR TIPO CICLÓN DE HOLLÍN PARA LAS CHIMENEAS DE LAS CALDERAS Y PLAN DE CONTINGENCIA PARA LA EMPRESA PRODUCTOS ALIMENTICIOS CENTROAMERICANOS, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Willy Leonel Valiente López**, 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, abril de 2012.

/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 COLECTOR TIPO CICLÓN DE HOLLÍN PARA LAS CHIMENEAS DE LAS CALDERAS Y PLAN DE CONTIGENCIA PARA LA EMPRESA PRODUCTOS ALIMENTICIOS CENTROAMERICANOS, S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Willy Leonel Valiente López**,, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, julio de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Él ser tan especial que me brinda a cada instante el regalo de la vida.
Mis padres	Arturo Esaú Valiente Orozco (q.e.p.d.), por sus experiencias y consejos compartidos e Ilsy Margot López Aschembremer, por su infinito amor, apoyo y cariño que me da todos los días.
Mis hermanos	Wilver, Jenny y Wendy, por su amor y comprensión brindados a lo largo de mi vida.
Sobrinos	Angie, Diego, Kevin, por compartir la alegría de la vida.
Tíos	Jorge Mario López Aschembremer (q.e.p.d.), Víctor Hugo Valiente, Mario Alberto Valiente, Erwin Enrique y Gustavo Adolfo López Aschembremer, Blanca Elizabeth Pérez, por su apoyo y consejos brindados a lo largo de mi vida.
Primos	Edgar Vallejos, Mario y Cristian López, por los momentos compartidos.
Toda mi familia	Por sus consejos y compañía.

Amigos

Por su compañía y amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de ser un profesional digno y competente para servir a nuestra nación.
Facultad de Ingeniería	Por abrigarme en sus instalaciones y permitirme conocer amistades invaluable.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial	Por guiarme en el aprendizaje de mi carrera y ámbito profesional.
Oficina de Lingüística	Por su aporte en la elaboración de este trabajo, especialmente a Carmen Pineda.
Mi asesor	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel, por sus sabias y oportunas directrices en la elaboración de este trabajo.
Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.	Por permitirme realizar este proyecto en sus instalaciones y su colaboración en la realización del mismo, especialmente a su propietario.
Personal de Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.	Por su colaboración, instrucciones, tiempo y experiencia compartida a mi persona, para lograr hacer de este proyecto una realidad.

Profesionales

Ingenieros: Esdras Miranda, Luis Asturias, Julio Cesar Rivera, Edwin Maldonado y Luís Sandoval; y Licenciados: Amahan Sánchez y Carlos Chiroy, por su ayuda y valiosas enseñanzas.

Licenciados

Jenny Valiente y Mario García, por su colaboración en el desarrollo de este trabajo, permitiendo que sea una realidad.

Bibliotecarios

Astrid Contreras, Norma Quan, Thelma Higüeros y Luís Chacón, por su valiosa amistad y colaboración en la elaboración de este trabajo.

Guatemala

Nación que me llena de orgullo.

**Establecimientos
educativos**

Escuela José Martí, Instituto José Milla y Vidaurre y Colegio Marco Polo, forjadores de mi preparación profesional.

**Municipio de
El Tumbador,
San Marcos**

Rinconcito de mi Guatemala que me vio nacer.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
GLOSARIO	XXI
RESUMEN	XXIX
OBJETIVOS	XXXI
INTRODUCCIÓN	XXXIII
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. Crecimiento de la planta	1
1.1.2. Maquinaria y tecnología	2
1.1.3. Personal	2
1.2. Visión	2
1.3. Misión	3
1.4. Valores	3
1.5. Productos que se elaboran	4
1.6. Organigrama del departamento de mantenimiento	5
1.7. Ubicación	6
1.8. Departamento de elaboración de proyectos.....	6
2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL: DISEÑO DE UN COLECTOR TIPO CICLÓN DE HOLLÍN PARA LAS CHIMENEAS DE LAS CALDERAS	7
2.1. Diagnóstico de la situación actual	7
2.1.1. Formulación del problema.....	7

2.1.2.	Análisis de implicados	8
2.1.3.	Consecuencias	9
2.1.4.	Enfoque del marco lógico	10
2.1.5.	Diagnóstico de la emisión de hollín	11
2.1.6.	Limitaciones.....	14
2.1.7.	Descripción de las calderas de la empresa	14
2.1.7.1.	Caldera de 500 BHP	15
2.1.7.2.	Caldera de 600 BHP	15
2.1.7.3.	Caldera de 750 BHP	16
2.1.8.	Diagramas del cuarto de calderas	17
2.1.9.	Determinación de la pluma de la chimenea	22
2.1.9.1.	Pluma de la chimenea de la caldera de 500 BHP	23
2.1.9.2.	Pluma de la chimenea de la caldera de 600 BHP	23
2.1.9.3.	Pluma de la chimenea de la caldera de 750 BHP	24
2.1.10.	Aplicación de las cartas de Ringelman a las chimeneas	24
2.1.10.1.	Datos obtenidos	25
2.1.10.2.	Cálculos y análisis.....	30
2.1.11.	Puntos de control de hollín	34
2.1.11.1.	Áreas de estudio	34
2.1.11.2.	Recolección de muestras.....	35
2.1.11.3.	Cálculo de resultados.....	37
2.2.	Propuesta de mejora.....	47
2.2.1.	Ciclón colector de hollín.....	49
2.2.1.1.	Datos necesarios para el diseño del ciclón.....	50

2.2.1.2.	Estudio granulométrico de hollín	50
2.2.1.3.	Densidad de gas de descarga	54
2.2.1.4.	Peso específico del gas de descarga	55
2.2.1.5.	Caudal de gas de descarga	56
2.2.1.6.	Presiones de gas de descarga	57
2.2.1.7.	Viscosidad estática el aire	77
2.2.1.8.	Viscosidad dinámica del aire	78
2.2.1.9.	Densidad del hollín	78
2.2.1.10.	Concentración de partículas de hollín en los gases de combustión	80
2.2.1.11.	Resumen de datos para el diseño del ciclón	93
2.2.2.	Cálculos del dimensionamiento del ciclón.....	94
2.2.2.1.	Procedimiento para diseñar un ciclón.....	99
2.2.2.2.	Diseño de un ciclón para tres calderas.....	100
2.2.2.3.	Diseño de un ciclón para dos calderas.....	115
2.2.2.4.	Diseño de un ciclón para una caldera	116
2.2.2.5.	Análisis de datos obtenidos del dimensionamiento del ciclón	117
2.2.2.6.	Calcular el costo del ciclón	124
2.2.2.7.	Diagrama del ciclón	125
2.2.2.8.	Diagramas propuestos para el cuarto de calderas con ciclón instalado.....	128
2.2.3.	Análisis posterior al diseño del colector de hollín.....	132
2.2.3.1.	Instrucciones para recolectar las muestras de hollín	133
2.2.3.2.	Instrucciones para la aplicación de las cartas de Ringelman	133
2.2.3.3.	Mantenimiento propuesto para el ciclón	134

2.2.3.4.	Variación del caudal que entra al ciclón	136
2.2.3.5.	Cálculo de la eficiencia de las calderas	139
2.2.3.6.	Cálculo del tiro de las chimeneas y de la chimenea del ciclón.....	146
2.2.3.7.	Diagrama de un visor colocado en el ciclón.....	151
2.2.3.8.	Diagramas propuestos para la ubicación de los dampers	152
2.2.3.9.	Cálculo de un ventilador para evacuar gases de la chimenea del ciclón	155
3.	FASE DE INVESTIGACIÓN: PLAN DE CONTINGENCIA CONTRA RIESGOS EN EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	157
3.1.	Datos generales.....	157
3.1.1.	Introducción	157
3.1.2.	Propósito del plan de contingencia.....	158
3.1.3.	Objetivos del plan	158
3.2.	Formación de brigadas	159
3.2.1.	Estructura de las brigadas	159
3.2.2.	Funciones de las brigadas.....	160
3.2.2.1.	Jefe de las brigadas	160
3.2.2.2.	Subjefe de las brigadas.....	160
3.2.2.3.	Integrantes de la brigada contra riesgos ...	161
3.2.2.4.	Integrantes de la brigada de primeros auxilios	161
3.2.2.5.	Integrantes de la brigada de evacuación ..	162
3.3.	Activación del plan y alerta	162
3.3.1.	Sistema de alerta temprana.....	162
3.3.2.	Sistema de alerta.....	163

4.1.1.	Entrevistas con el personal de mantenimiento	193
4.1.2.	Recolección de información acerca de los temas a tratar	194
4.1.2.1.	Mantenimiento.....	194
4.1.2.2.	Rutas de evacuación.....	197
4.1.2.3.	Equipo de protección personal.....	198
4.1.2.4.	Los sistemas de unidades dimensionales	198
4.1.2.5.	Cubicación	202
4.2.	Planificación de las capacitaciones	209
4.2.1.	Realización de las diapositivas a utilizar y material de apoyo	210
4.2.2.	Determinación de los días a realizar las capacitaciones	210
4.2.3.	Capacitación por grupos a los integrantes del taller de mantenimiento	212
4.3.	Resultados de la capacitación del personal.....	213
4.3.1.	Resultado de la encuesta de la capacitación.....	222
4.3.2.	Análisis de los resultados de las capacitaciones	227
CONCLUSIONES.....		229
RECOMENDACIONES		231
BIBLIOGRAFÍA.....		233
APÉNDICE		237
ANEXOS.....		239

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama del departamento de mantenimiento	5
2.	Vista de la planta	6
3.	Diagrama de árbol de problemas	10
4.	Vista de perfil del quemador de la caldera de 750 BHP	13
5.	Vista frontal de la boquilla del quemador de la caldera de 750 BHP	13
6.	Vista de perfil de la boquilla del quemador de la caldera de 750 BHP	13
7.	Caldera de 500 BHP	15
8.	Caldera de 600 BHP	16
9.	Caldera de 750 BHP	16
10.	Áreas de la sala de calderas	17
11.	Medidas del cuarto de calderas	18
12.	Vista de los cortes realizados a la sala de calderas	19
13.	Corte A	19
14.	Corte B	20
15.	Corte C	20
16.	Vista isométrica del área de calderas	21
17.	Vista isométrica de la parte exterior de la sala de calderas.....	21
18.	Perfiles de plumas de chimeneas	22
19.	Aplicación de las cartas de Ringelman.....	24
20.	Muestras de hollín del taller de torno	36
21.	Muestras de hollín de la sala de calderas	36
22.	Muestras de hollín del área de producción.....	36
23.	Frascos etiquetados del taller de torno	38

24.	Período de recolección de muestras de hollín en el taller de torno	40
25.	Frascos etiquetados de la sala de calderas.....	41
26.	Período de recolección de muestras de hollín en la sala de calderas	43
27.	Frascos etiquetados del área de producción	43
28.	Período de recolección de muestras de hollín en el área de producción	45
29.	Vista de un ciclón instalado en la chimenea de una caldera.....	49
30.	Peso del recipiente de toma de muestras de hollín	51
31.	Peso de los recipientes de toma de muestras de hollín.....	51
32.	Peso retenido vrs tamaño en micras del hollín	54
33.	Características del tubo de Prandtl.....	57
34.	Medidas del tubo de Prandtl	58
35.	Corte de tubos	60
36.	Piezas en el torno	60
37.	Pieza esmerilada	61
38.	Perforación de agujeros.....	61
39.	Soldadura en las piezas.....	62
40.	Colocación de acoples.....	62
41.	Colocación a la manguera de una guía	63
42.	Tubo de Prandtl finalizado	63
43.	Tubo de Prandtl instalado en la chimenea	64
44.	Medida de la diferencia de alturas	64
45.	Esquema de la instalación del tubo de Prandtl	65
46.	Vista del funcionamiento del tubo de Prandtl	67
47.	Aplicación del tubo de Prandtl para encontrar la diferencia de presiones	68
48.	Aplicación del tubo de Prandtl para determinar la presión total	72
49.	Aplicación del tubo de Prandtl para determinar la presión estática.....	74
50.	Recipiente utilizado para encontrar la densidad del hollín	79

51.	Modelo de dispersión gaussiano	81
52.	Puntos a analizar la concentración de partículas de hollín.....	87
53.	Vista de los ejes X y Z del punto de concentración de hollín	87
54.	Vista de los ejes Y y Z del punto de concentración de hollín.....	88
55.	Vista de los ejes X y Y del punto de concentración de hollín	88
56.	Vista de un ciclón	96
57.	Nueva distribución de peso retenido	103
58.	Eficiencia del ciclón por intervalos de partículas de hollín.....	113
59.	Vista en planta de un ciclón diseñado para tres calderas.....	118
60.	Vista lateral de un ciclón diseñado para tres calderas	119
61.	Vista de un ciclón diseñado para tres calderas comparado con una caldera	120
62.	Vista en planta de un ciclón diseñado para dos calderas.....	120
63.	Vista lateral de un ciclón diseñado para dos calderas.....	121
64.	Vista de un ciclón diseñado para dos calderas comparado con una caldera	122
65.	Vista en planta de un ciclón diseñado para una caldera	122
66.	Vista lateral de un ciclón diseñado para una caldera	123
67.	Vista de un ciclón diseñado para una caldera comparado con una caldera	124
68.	Vista de perfil del ciclón con sus medidas respectivas	126
69.	Vista de planta del ciclón con sus medidas respectivas	126
70.	Vista del ciclón con su estructura	127
71.	Vista isométrica del ciclón	127
72.	Vista en planta de la sala de calderas con ciclón instalado.....	129
73.	Vista del corte D	129
74.	Vista del corte E	130
75.	Vista del corte F	130
76.	Vista isométrica interior del ciclón sin conexiones.....	131

77.	Vista isométrica interior del ciclón con conexiones	131
78.	Vista isométrica exterior del ciclón instalado.....	132
79.	Distancias requeridas en la toma de datos para la aplicación de las cartas de Ringelman	134
80.	Vista de perfil del ciclón con visor instalado.....	151
81.	Medidas del visor	152
82.	Vista de un damper.....	153
83.	Dampers para la caldera de 500 BHP	153
84.	Dampers para la caldera de 750 BHP	154
85.	Dampers para la caldera de 600 BHP	154
86.	Estructura de las brigadas	160
87.	Planos de las instalaciones.....	177
88.	Áreas del departamento de mantenimiento	178
89.	Rutas de evacuación	179
90.	Lugares seguros	180
91.	Primer nivel.....	197
92.	Segundo nivel	198
93.	Cilindro.....	203
94.	Cono y cilindro	205
95.	Semicilindro y paralelepípedo	206
96.	Encuesta de la capacitación	214
97.	Foto uno del grupo uno.....	215
98.	Foto dos del grupo uno	215
99.	Foto tres del grupo uno.....	216
100.	Foto uno del grupo dos	216
101.	Foto dos del grupo dos	217
102.	Foto uno del grupo tres.....	217
103.	Foto dos del grupo tres	218
104.	Foto uno del grupo cuatro.....	218

105.	Foto dos del grupo cuatro	219
106.	Foto uno del grupo cinco.....	219
107.	Foto dos del grupo cinco.....	220
108.	Foto uno del grupo seis.....	220
109.	Foto dos del grupo seis.....	221
110.	Foto uno del grupo siete.....	221
111.	Foto dos del grupo siete.....	222
112.	Resultados de la encuesta	222
113.	Resultados pregunta uno	225
114.	Resultados pregunta dos	225
115.	Resultados pregunta tres	226
116.	Resultados pregunta cuatro	226
117.	Resultados pregunta cinco.....	227

TABLAS

I.	Análisis de implicados	8
II.	Relaciones entre los implicados.....	8
III.	Datos obtenidos de la caldera de 500 BHP.....	25
IV.	Datos obtenidos de la caldera de 600 BHP.....	27
V.	Datos obtenidos de la caldera de 750 BHP.....	29
VI.	Resumen de datos de caldera de 500 BHP	31
VII.	Resumen de datos de caldera de 600 BHP	32
VIII.	Resumen de datos de caldera de 750 BHP	33
IX.	Características de las bolsas de plástico y frascos de vidrio.....	34
X.	Código de colores	35
XI.	Etiqueta	35
XII.	Tabulación de datos del área de torno	39
XIII.	Tabulación de datos de la sala de calderas.....	41

XIV.	Tabulación de datos del área de producción	44
XV.	Resumen de datos de las muestras de hollín.....	46
XVI.	Resumen de media, varianza y desviación estándar de las muestras de hollín	46
XVII.	Resultados del estudio realizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII).....	53
XVIII.	Valores utilizados para encontrar la densidad del gas de descarga.....	55
XIX.	Costo de materiales.....	59
XX.	Resultados del tubo de Prandtl aplicados en la chimenea de 750 BHP	65
XXI.	Simplificaciones realizadas a la ecuación de Bernoulli.....	66
XXII.	Resultados del tubo de Prandtl aplicados para encontrar la presión total	72
XXIII.	Resultados del tubo de Prandtl aplicados para encontrar la presión estática	74
XXIV.	Resumen de datos obtenidos con el tubo de Prandtl	77
XXV.	Valores utilizados para encontrar la viscosidad estática del aire	77
XXVI.	Categorías de estabilidad atmosférica	84
XXVII.	Coeficiente exponencial para el cálculo de U	85
XXVIII.	Constantes para el cálculo de las σ_y y σ_z	85
XXIX.	Coordenadas geográficas del municipio de San Miguel Petapa.....	86
XXX.	Parámetros climáticos del municipio de San Miguel Petapa	86
XXXI.	Radiación solar incidente del municipio de San Miguel Petapa.....	86
XXXII.	Resumen de datos necesarios para el diseño del ciclón	93
XXXIII.	Intervalo de eficiencia de diferentes familias de ciclones	94
XXXIV.	Parámetros de diseño para los ciclones de entrada tangencial.....	95
XXXV.	Características de los ciclones convencionales	96
XXXVI.	Características de los ciclones de alta eficiencia.....	97

XXXVII.	Características de los ciclones de alta capacidad	98
XXXVIII.	Nuevo porcentaje de los rangos de muestra de hollín	103
XXXIX.	Dimensiones del ciclón diseñado para tres calderas	106
XL.	Eficiencias por intervalos de tamaño de partículas de hollín	112
XLI.	Resumen de datos de un ciclón diseñado para dos calderas	115
XLII.	Dimensiones del ciclón diseñado para dos calderas.....	116
XLIII.	Resumen de datos de un ciclón diseñado para una caldera	116
XLIV.	Dimensiones del ciclón diseñado para una caldera	117
XLV.	Resumen de datos de los ciclones diseñados	118
XLVI.	Presupuesto de materiales.....	125
XLVII.	Ficha técnica propuesta para el ciclón	135
XLVIII.	Propuesta de programación de trabajos de mantenimiento para el ciclón	135
XLIX.	Datos requeridos para evaluar la nueva eficiencia utilizando tres calderas.....	137
L.	Datos requeridos para evaluar la nueva eficiencia utilizando una caldera	138
LI.	Resumen de ciclón de dos calderas	139
LII.	Resumen de capacidades y consumo de combustibles de las calderas.....	141
LIII.	Condiciones de trabajo de las calderas	142
LIV.	Valores utilizados para encontrar la entalpía de vapor saturado a la presión de trabajo de la caldera	142
LV.	Valores utilizados para encontrar la entalpía a temperatura del agua de alimentación a la entrada de la caldera	143
LVI.	Valores utilizados para encontrar la entalpía de vapor saturado y entalpía de líquido saturado a la presión de una atmósfera	144
LVII.	Resumen de los valores de entalpías encontradas.....	144

LVIII.	Resumen de datos del cálculo de la eficiencia de la caldera de 600 BHP	145
LIX.	Resumen de datos del cálculo de la eficiencia de la caldera de 750 BHP	146
LX.	Resumen de las eficiencias encontradas.....	146
LXI.	Alturas de las chimeneas.....	147
LXII.	Temperaturas de las chimeneas y el peso específico del aire en su interior.....	148
LXIII.	Temperatura de la chimenea del ciclón.....	149
LXIV.	Resumen de los tiros de las chimeneas	150
LXV.	Condiciones de diseño del ventilador	156
LXVI.	Evaluación de riesgos.....	166
LXVII.	Amenazas en la empresa	174
LXVIII.	Ficha de diagnóstico	183
LXIX.	Ficha de riesgos detectados	184
LXX.	Ficha de accidentes ocurridos	185
LXXI.	Ficha de recuento de ocupantes.....	189
LXXII.	Ficha de información acerca del accidente.....	190
LXXIII.	Ficha de últimos accidentes ocurridos.....	191
LXXIV.	Ficha de accidentes por día.....	192
LXXV.	Ejemplo de una ficha técnica	195
LXXVI.	Ejemplo de ficha de programación de trabajos.....	196
LXXVII.	Principales unidades de medida en el sistema internacional e inglés	199
LXXVIII.	Múltiplos y submúltiplos	199
LXXIX.	Conversiones de unidades	200
LXXX.	Equivalencias entre grados Celsius y Fahrenheit	202
LXXXI.	Resumen de fórmulas.....	208
LXXXII.	Orden de los temas de las capacitaciones	210

LXXXIII.	Calendarización de las capacitaciones.....	211
LXXXIV.	Grupos de las capacitaciones.....	211
LXXXV.	Grupo uno y dos de las capacitaciones.....	212
LXXXVI.	Grupo tres y cuatro de las capacitaciones.....	212
LXXXVII.	Grupo cinco y seis de las capacitaciones.....	213
LXXXVIII.	Grupo siete de las capacitaciones.....	213

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Aceleración gravitacional
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
H₂O	Agua
S	Altura de salida
z	Altura parte cónica
B	Ancho de la entrada del ciclón
CO₂	Anhídrido carbónico o dióxido de carbono
SO₃	Anhídrido sulfúrico
SO₂	Anhídrido sulfuroso o dióxido de azufre
Á	Área del ducto de entrada del ciclón
Δp	Aumento de la presión a través del ventilador
BTU/Galón	BTU por galón
BTU/h	BTU por hora
BTU/Lbm	BTU por libras masa
BHP	Caballos caldera de potencia
HP	Caballos de fuerza
ΔP	Caída de presión en el ciclón
Cal	Caloría
Q	Caudal de gas de descarga
Q₁	Caudal original
cm	Centímetros
cm³	Centímetros cúbicos
CII	Centro de Investigaciones de Ingeniería

Mc	Consumo de combustible
DAV	Densidad aparente visual del humo
ρ_p	Densidad de la partícula
P	Densidad del gas portador
S	Desviación estándar
D	Día
\emptyset	Diámetro
B	Diámetro de la chimenea de salida de las partículas
D_{Pi}	Diámetro de la partícula
D_s	Diámetro de salida
Dc	Diámetro del ciclón
H	Eficiencia de la caldera
η_i	Eficiencia fraccional por intervalos de tamaño
η_1	Eficiencia original
Hs	Entalpía de líquido saturado
Hg	Entalpía de vapor saturado
EPP	Equipo de protección personal
K	Factor de compresibilidad del aire
G	Factor de configuración del ciclón
GPH	Galones por hora
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
$^{\circ}\text{F}$	Grados Fahrenheit
g/cm^3	Gramos por centímetro cúbico
h	Hora
Kg/m^3	Kilogramo por metro cúbico
Kg/(s m)	Kilogramo por segundo-metro
KN/m^3	Kilonewton por metro cúbico
KPa	Kilopascal
kW	Kilowatts

lbs	Libras
Psi	Libras fuerza por pulgada cuadrada
Psia	Libras fuerza por pulgada cuadrada absoluta
Lbm/hora	Libras masa por hora
Mv	Masa de vapor
M	Masa del hollín
≥	Mayor o igual que
\bar{X}	Media
M	Metro
m²	Metro cuadrado
m²/s	Metro cuadrado por segundo
m³	Metro cúbico
m³/s	Metro cúbico por segundo
m/s	Metro por segundo
m/s²	Metro por segundo al cuadrado
μm	Micrómetros
Mm	Milímetro
Mmca	Milímetro de columna de agua
CO	Monóxido de carbono
N/m³	Newton por metro cúbico
N₂	Nitrógeno
η₂	Nueva eficiencia
N_H	Número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón
NE	Número total de equivalente a la tarjeta número I
Ps	Presión de estancamiento o total
NOx	Óxidos de nitrógeno
O₂	Oxígeno
PST	Partículas de tamaño estándar
PM10	Partículas menores a 10 micrómetros

PM2.5	Partículas menores a 2.5 micrómetros
H_L	Pérdidas por fricción
Δ	Peso específico
Y_{h2o}	Peso específico del agua
Y_{aire}	Peso específico del aire
π	Pi
'	Pie
pie³	Pie cúbico
H_c	Poder calorífico neto del combustible
P_s	Presión estática
P_a	Presión total
"	Pulgada
R	Radio de la chimenea
K_b	Relación de ancho de entrada del ciclón
V_i / V_s	Relación de velocidades
η_{mec}	Rendimiento mecánico de ventiladores
S	Segundo
Q₂	Segundo caudal
SI	Sistema internacional de medidas
H₂S	Sulfuro de hidrogeno
T_i	Tiempo de relajación
H	Tiro de la chimenea
BTU	Unidad térmica británica
s²	Varianza
V_i	Velocidad de entrada del gas en el ciclón
V_s	Velocidad de saltación
W	Velocidad equivalente
M	Viscosidad del gas portador
V	Viscosidad estática

GLOSARIO

Acero inoxidable	Aleación de acero, cromo, níquel y otros, especialmente resistente a la corrosión.
Ácido	Cualquiera de las sustancias que pueden formar sales combinándose con algún óxido metálico u otra base de distinta especie.
Ácido sulfúrico	Líquido de consistencia oleosa, incoloro e inodoro y compuesto de azufre, hidrógeno y oxígeno.
Anhídrido carbónico o dióxido de carbono	Gas más pesado que el aire, inodoro, incoloro, incombustible y asfixiante que, por la combinación del carbono con el oxígeno, se produce en las combustiones y en algunas fermentaciones.
Anhídrido sulfúrico	Cuerpo sólido, incoloro y cristalino, compuesto de azufre y oxígeno.
Anhídrido sulfuroso o dióxido de azufre	Gas incoloro, de olor fuerte e irritante, que resulta de la combinación del azufre con el oxígeno al quemarse el primero de estos dos cuerpos.

Atomización	Proceso por el cual se disgrega un combustible sólido o líquido para obtener un mayor rendimiento.
Calderas	Recipiente de metal grande y semiesférico que su función es calentar o cocer algo dentro de él.
Caloría	Cantidad de energía calorífica necesaria para elevar un grado Celsius la temperatura de un gramo de agua pura, desde 14,5 °C a 15,5 °C, a una presión normal de una atmósfera.
Cámaras de aspersion	Elemento que limpia el gas contaminado haciendo que éste fluya hacia arriba y las partículas chocan con las gotas del líquido producidas por boquillas apropiadas situadas a través del paso del flujo.
Cámaras de sedimentación gravitacional	Utilizado exclusivamente para partículas en movimiento de caída libre.
Ceniza	Polvo de color gris claro que queda después de una combustión completa, y está formado, generalmente, por sales alcalinas y térreas, sílice y óxidos metálicos.

**Centro de Investigaciones
de Ingeniería -CII-**

Instituto integrado por todos los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala que presta sus servicios técnicos específicos a las diversas entidades del país que así lo requieran.

Chimeneas

Cañón o conducto para la expulsión del humo que resulta de la combustión.

Damper

Sirve para controlar el caudal, la temperatura del aire, humos y para aislar un equipo que queda fuera de servicio o requiere algún trabajo de mantenimiento.

Densidad aparente visual

Medida que indica la tonalidad del humo expulsado en las chimeneas.

Desviación estandar

Separación lateral de un cuerpo de su posición media.

Entalpías

Magnitud termodinámica de un cuerpo físico o material. Es igual a la suma de su energía interna más el producto de su volumen por la presión exterior.

Estabilidad atmosférica	Hace referencia al movimiento vertical del aire, el cual se vincula a diversidad de procesos como la formación y disipación de nubes, turbulencia, tormentas, dispersión o concentración de contaminantes, etc.
Estudio granulométrico	Sirve para determinar el tamaño del grano de partículas como hollín, arena, etc.
Hollín	Una aglomeración de partículas de carbón.
Media	Valor que está en el centro de los demás valores.
Monóxido de carbono	Compuesto químico de carbono y oxígeno. Es un gas incoloro e inodoro, un 3% más ligero que el aire, que resulta venenoso para los animales de sangre caliente y muchas otras formas de vida.
Nitrógeno	Metaloide gaseoso, incoloro, transparente, insípido e inodoro, que no sirve para la respiración ni para la combustión, y que constituye aproximadamente las cuatro quintas partes del aire atmosférico.
Óxidos de nitrógeno	Son varios compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno.

Peso específico	El de un cuerpo en comparación con el de otro de igual volumen tomado como unidad.
Pluma de la chimenea	A la emanación visible de una chimenea. La altura de pluma está determinada por la velocidad y empuje de los gases que salen por la chimenea.
Poder calorífico	El poder calorífico es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.
Poder calorífico neto o inferior	Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de volumen de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado en la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor.
Poder calorífico superior	Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de volumen de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase.

Presión dinámica

Se presenta en los fluidos cuando se mueven en un conducto, la inercia del movimiento produce un incremento adicional de la presión estática al chocar sobre un área perpendicular al movimiento.

Presión estática

Es la presión ejercida por un fluido la cual no es ejercida por el movimiento o velocidad del fluido. Esta actúa por igual en todas las direcciones y siempre en ángulo recto con todas las superficies que contengan al fluido.

Presión total o de estancamiento

Suma algebraica de la presión estática total y la presión de la velocidad, en cualquier punto particular de un fluido.

Producción más Limpia

Aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a procesos, productos y servicios, para incrementar sobre éstos la eficiencia y reducir el riesgo para el ser humano y el medio ambiente (P+L).

Radiación solar incidente

Es la cantidad total de radiación solar (directa y reflejada) que se recibe en un punto determinado del planeta, sobre una superficie de 1 m^2 , para un determinado ángulo de inclinación entre la superficie colectora y la horizontal del lugar.

Scrubbers

Elemento que limpia el aire, haciendo que el flujo de contaminantes pase por una serie de mamparas con cortinas de agua, donde las partículas se unen al agua.

Separador de sólidos tipo ciclón

En este elemento es utilizada la fuerza gravitacional por la fuerza centrífuga, la separación de las partículas será más rápida y con mayor eficiencia.

Sulfuro de hidrógeno

Gas venenoso e incoloro, con olor a huevo podrido.

Tamiz

Instrumento compuesto de un aro y de una tela, por lo común de cerdas, más o menos clara, que cierra la parte inferior. Sirve para separar las partes sutiles de las gruesas de algunas cosas; como la harina, el suero, etc.

Teorema de Bernoulli

Principio físico que implica la disminución de la presión de un fluido (líquido o gas) en movimiento cuando aumenta su velocidad.

Tiro

Diferencia de presiones del aire exterior y gases de la combustión.

Tubo de Pitot

Permite medir la diferencia entre la presión estática y dinámica de un fluido en movimiento.

Tubo de Prandtl	Une al tubo de pitot con un manómetro en U, para poder medir la velocidad de un fluido en movimiento.
Tubo venturi	Canal de flujo rectangular o circular que converge a una garganta de sección estrecha y luego diverge nuevamente a su área original en la sección transversal.
Varianza	Media de las desviaciones cuadráticas de una variable aleatoria, referidas al valor medio de esta.
Viscosidad	Magnitud física que mide la resistencia interna al flujo de un fluido, resistencia producto del frotamiento de las moléculas que se deslizan unas contra otras. La inversa de la viscosidad es la fluidez.
Viscosidad dinámica o absoluta	Tiempo que tarda en fluir a través de un tubo capilar a una determinada temperatura.
Viscosidad estática	Representa la característica propia del líquido desechando las fuerzas que genera su movimiento, obteniéndose a través del cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del producto en cuestión.

RESUMEN

La empresa guatemalteca Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A. desea ser innovadora, líder nacional e internacional, que le ofrece al país promover la satisfacción, desarrollo y crecimiento de clientes y colaboradores, por lo cual, estar a la vanguardia en los temas que a nivel internacional dan la pauta de mejora es, sin lugar a duda, una de sus metas.

El proyecto a realizar en la empresa está muy relacionado con el medio ambiente, tema de mucho auge actualmente, por lo tanto se desea encontrar un elemento que reduzca la emisión de hollín de las chimeneas de las calderas para colocar su granito de arena en este tema muy importante.

Es por eso que se realiza el análisis de la situación actual, también se determina la densidad aparente visual del humo de las chimeneas, muestras de hollín en áreas afectadas, el diagrama de la sala de calderas, entre otros.

Luego de conocer los métodos posibles de captación de partículas de suspendidas en el aire, se escogió un colector tipo ciclón de hollín el cual captura sólidos presentes en los gases de combustión de las calderas.

Además, se estableció que los valores necesarios para el diseño de un ciclón son: caudal, presión, viscosidad dinámica, temperatura y densidad de los gases de combustión, tamaño y densidad del hollín y la concentración de partículas de hollín en los gases de combustión.

Posteriormente, se diseñó un ciclón que pueda funcionar con dos calderas simultáneamente, también, se realizaron diagramas en los cuales se muestra la propuesta de la colocación del ciclón en la empresa, complementando con su presupuesto de realización.

Finalmente se determinó la eficiencia de las calderas, la potencia de un ventilador para la chimenea del ciclón, un plan de mantenimiento para el nuevo colector garantizando así, la continuidad de su funcionamiento.

OBJETIVOS

General

Diseñar un colector tipo ciclón para minimizar la emisión de partículas de hollín al medio ambiente.

Específicos

1. Determinar la densidad aparente visual en las chimeneas de las calderas.
2. Definir los datos necesarios para el diseño del colector tipo ciclón.
3. Especificar las características técnicas del colector de hollín.
4. Calcular el presupuesto de materiales necesarios en la fabricación el ciclón diseñado para dos calderas.
5. Conocer la influencia en el diseño del ciclón que ejerce la variación del caudal de entrada de los gases de combustión.
6. Indicar las brigadas a formar en un plan de contingencia contra riesgos en el departamento de mantenimiento.
7. Establecer los temas a impartir en las capacitaciones.

INTRODUCCIÓN

El colector tipo ciclón tiene como fin atrapar el hollín que es expulsado en las chimeneas de las calderas, producto del proceso de combustión de la quema de búnker para la producción de vapor en la planta.

El primer capítulo es una descripción de la planta, en la cual se desarrolla el presente proyecto, en donde se podrá apreciar antecedentes, ubicación geográfica, visión, misión, los valores que se inculcan en todo su personal, además, la estructura organizacional del departamento de mantenimiento.

Se evalúa el problema de la emisión de hollín que presenta actualmente la planta, incluyendo el gráfico de árbol de problemas, muestras y puntos de control de hollín, aplicación de las cartas de Ringelman, los planos del área de calderas.

El presupuesto de materiales, el tipo de ciclón, cálculos de velocidades, presiones, caudales y diagramas del ciclón instalado en el área de calderas se incluyen en el presente trabajo.

En el capítulo de fase de investigación se describe información útil para poder minimizar los accidentes en el departamento de mantenimiento y formas de llevar un control de los riesgos presentes en el mismo.

Finalmente, en la fase de docencia se planifican los temas a tratar, grupos de trabajo, material de apoyo a impartir y los resultados de la encuesta realizada a los integrantes del departamento de mantenimiento.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. Antecedentes

Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A., es una empresa guatemalteca fundada en 1959, con gran variedad de productos de alta calidad. La empresa ha logrado mantener su liderazgo a través de los años siendo muchos de sus productos los preferidos en el mercado de Guatemala.

Los productos son elaborados con las más estrictas normas internacionales, además de los mejores ingredientes, para ofrecer a los consumidores la mejor calidad en cada producto.

Además, tiene presencia en los siguientes países:

- El Salvador
- Honduras

1.1.1. Crecimiento de la planta

Esta empresa es fundada con el propósito de abastecer al mercado nacional con los productos: mayonesa, salsa dulce y chile en escabeche.

En sus orígenes, la empresa operó en la zona 3 de la ciudad de Guatemala, pero con la gran aceptación en el mercado de estos productos se decidió buscar una nueva ubicación que permitiera el crecimiento en la producción.

Para ampliar la fábrica se adquirió un terreno en San Miguel Petapa, con el propósito de estar cerca de la ciudad capital y contar con poblados cercanos como: Villa Nueva, Villa Canales, entre otros. La decisión anterior provocó que la ubicación inicial se convirtiera en las oficinas centrales.

Con el paso del tiempo se han ido produciendo varios productos, los cuales han sido aceptados por las familias guatemaltecas, salvadoreñas y hondureñas.

1.1.2. Maquinaria y tecnología

En sus inicios, la empresa basó su producción en procesos artesanales, pero con la necesidad de competir en el mercado nacional e internacional se ha ido actualizando en los temas de maquinaria y tecnología, dando como resultado el uso de máquinas para la elaboración de varios productos y relegando las funciones manuales para el empaquetado de los mismos.

1.1.3. Personal

La empresa, actualmente, cuenta con más de 400 empleados, entre personal administrativo, operativo, gerentes, ingenieros y jefes departamentales.

1.2. Visión

“Ser una empresa de alimentos innovadora, líder nacional e internacionalmente, ofreciendo a nuestros clientes productos de calidad superior, selecta variedad y excelente servicio. Reuniendo un equipo motivado que comparta nuestra visión y así promover la satisfacción, desarrollo y crecimiento de nuestros clientes, nuestros colaboradores y nuestro país.”

1.3. Misión

“Ser un equipo motivado por mantener el compromiso de alta satisfacción de nuestros clientes a través de productos de excelente calidad y servicio a precios competitivos. Al mismo tiempo, mantener una innovación continua de los productos, la calidad y el servicio, reiterando a nuestros colaboradores el compromiso de un crecimiento compartido.”

1.4. Valores

Los valores que se inculcan en la empresa en todos los niveles jerarquicos son:

- **Apertura al cambio:** dentro de sus funciones la empresa puede realizar cambios en sus diversas áreas para cumplir con las exigencias del mercado y así satisfacer las necesidades que demanden sus consumidores.
- **Creatividad:** es un valor que manifiesta la empresa al lanzar al mercado nuevos proyectos y al solucionar cualquier proceso dentro de la misma.
- **Entrega al trabajo:** todos los trabajadores ponen de manifiesto su esfuerzo, conocimiento y herramientas que tienen a su disposición para realizar las tareas encomendadas.
- **Entusiasmo:** es el valor que expresan los integrantes de la empresa al realizar las tareas que desempeñan diariamente.

- **Honestidad:** es el valor que caracteriza a la empresa, porque en todos sus actos los hace con decoro, decencia y moderación en sus diversas actividades.
- **Integridad:** este valor hace que la empresa sea recta, honrada e intachable en cada actividad que realicen sus integrantes.
- **Lealtad:** la empresa manifiesta su amor, gratitud y fidelidad en cada una de sus acciones a través de sus trabajadores.
- **Respeto:** la empresa reconoce el valor inherente de las personas y sus derechos innatos sin hacer distinción alguna.
- **Trabajo en equipo:** los integrantes de la empresa realizan sus actividades de manera organizada, en un ambiente de amabilidad y respeto para el engrandecimiento y prestigio de la misma.

1.5. Productos que se elaboran

La empresa ofrece una diversa gama de productos al consumidor, los cuales se mencionan a continuación:

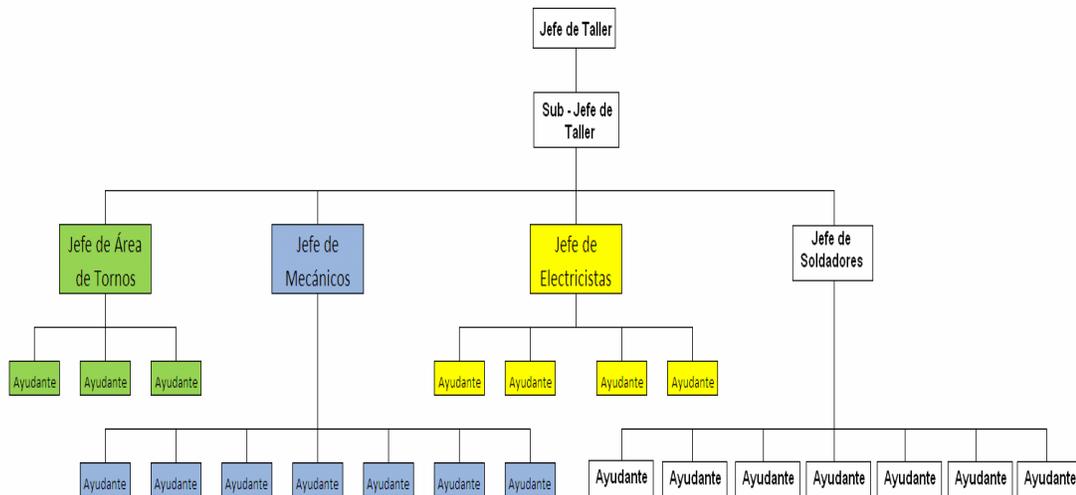
- Aderezo
- Chiles jalapeños en escabeche
- Chiles Serranos
- Mayonesa
- Mermeladas de frutas
- Miel de maple
- Mostaza

- Néctares concentrados de frutas
- Salsa de chile habanero
- Salsa Inglesa
- Salsa Maya-Ik
- Salsa Miltomate
- Salsa Picadiablo
- Salsa Picamás
- Salsa Soya
- Salsa Tipo Ketchup

1.6. Organigrama del departamento de mantenimiento

En la figura 1 se muestra la distribución del organigrama tipo vertical, presente en la jerarquía del taller de mantenimiento.

Figura 1. Organigrama del departamento de mantenimiento



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A. Departamento de mantenimiento.

1.7. Ubicación

La empresa está ubicada en el kilómetro 14,5 a San Miguel Petapa.

Figura 2. **Vista de la planta**



Fuente: <http://maps.google.es/>. Consulta: mayo de 2011.

1.8. Departamento de elaboración de proyectos

La empresa tiene a su disposición el departamento de elaboración de proyectos, el cual se encarga de administrar los proyectos que sean necesarios realizar, con el fin de mejorar continuamente los procesos, estructuras, entre otros.

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL: DISEÑO DE UN COLECTOR TIPO CICLÓN DE HOLLÍN PARA LAS CHIMENEAS DE LAS CALDERAS

2.1. Diagnóstico de la situación actual

El diagnóstico en la empresa respecto al problema de la emisión de hollín de las chimeneas de las calderas, se describirá abordando temas como: formulación del problema, análisis de implicados, consecuencias, entre otros.

2.1.1. Formulación del problema

Los integrantes de la empresa han visto la presencia de partículas de hollín en varios lugares de la misma, las cuales han ocasionado algunos inconvenientes.

Al buscar la fuente de emisión de dichas partículas, se determinó su origen en las chimeneas de las calderas y se estableció la necesidad de eliminar o minimizar dicho problema, debido a la acumulación de hollín en máquinas del taller de torno, en los techos y al medio ambiente, afectando también, la imagen empresarial.

Lo anterior dio el punto de partida para el inicio del proyecto, por lo tanto, la finalidad del mismo es encontrar la solución a este inconveniente presente en la empresa.

2.1.2. Análisis de implicados

El análisis de implicados en el proyectos se muestran en la tabla I.

Tabla I. **Análisis de implicados**

Instituciones	Grupos de interés	Otros
Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.	Empleados	Público en general

Fuente: elaboración propia.

En la tabla II se aprecian las relaciones entre los implicados en el proyecto.

Tabla II. **Relaciones entre los implicados**

	Institucion	Empleados
Problemas	Pérdida de buena imagen por la emisión de hollín Pérdida de maquinaria por daños	Futuros problemas de salud de los empleados por poca costumbre en protección pulmonar Verse afectados por futuros daños en los equipos por el hollín y una reducción en la eficiencia de la caldera

Continuación de la tabla II.

Intereses	Operaciones de la caldera adecuada La maquinaria no se vea afectada Ser participe de la producción más limpia.	Cumplir con las decisiones de la empresa
Potenciales	Capaz de influenciar directamente el problema	Encargados de acatar las decisiones de la empresa
Interrelación	Dependientes de la experiencia de los empleados	Dependientes de la empresa por ser su fuente de trabajo

Fuente: elaboración propia.

2.1.3. Consecuencias

Tener una emisión de hollín en las chimeneas de las calderas ha generado las siguientes consecuencias:

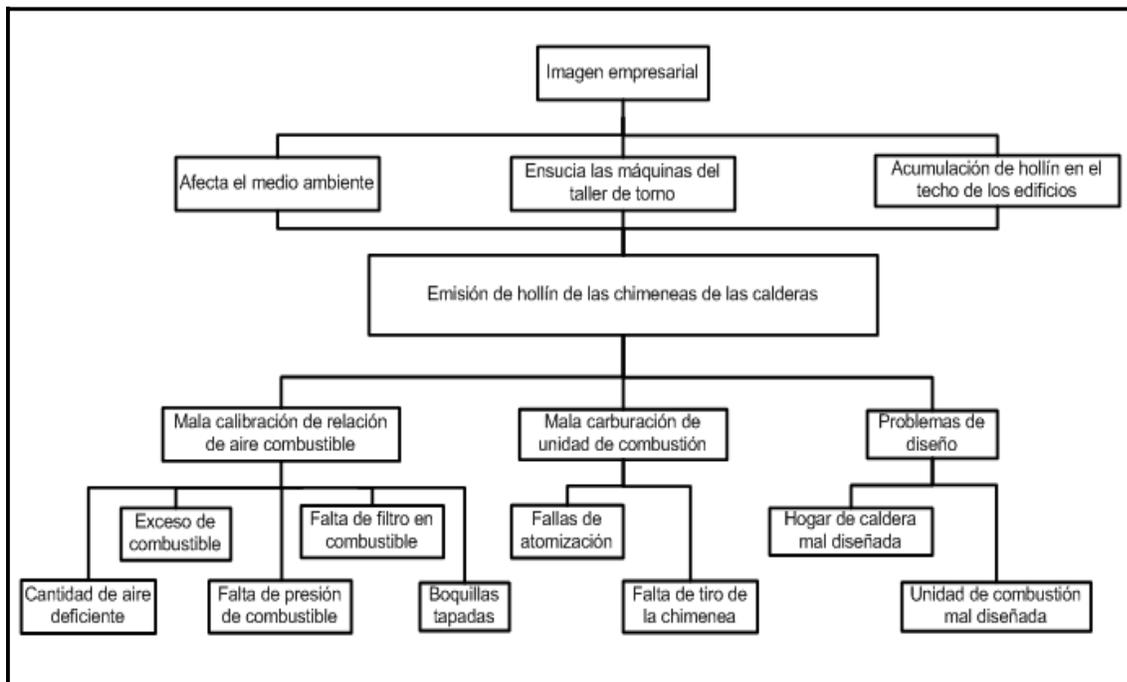
- Acumulación de hollín en la maquinaria del área de taller de torno.
- Techos con presencia de hollín, tapando los canales de desagüe de lluvia.
- Contaminación ambiental por la expulsión del hollín que arrastra las corrientes de aire.
- El hollín se precipita a lo largo de las calderas de la empresa.

2.1.4. Enfoque del marco lógico

En el diagrama de árbol de problemas de la figura 3 se observan las causas más comunes que provocan la existencia de la emisión de hollín por parte de las chimeneas. Éste se ha realizado por medio de reuniones con el personal del área de calderas, jefe de taller de mantenimiento y jefa de elaboración de proyectos.

En las sesiones realizadas se planteó y discutió cada uno de los elementos que conforman al diagrama de árbol de problemas, para concluir en éste se han investigado las causas que provocan la emisión de hollín y observado su presencia en las calderas de la empresa.

Figura 3. Diagrama de árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

2.1.5. Diagnóstico de la emisión de hollín

En el diagrama de árbol de problemas de la figura 3 se observa en la parte superior, las causas de la formación de hollín en las calderas, y los efectos en el segmento inferior de dicha imagen.

Para realizar el diagnóstico de la emisión de hollín se describen a continuación cada uno de los elementos presentes en el diagrama de árbol de problemas.

El efecto de imagen empresarial contiene los siguientes elementos:

- Ensucia las máquinas del taller de torno: provoca que las máquinas del taller de torno estén proclives a ensuciarse por las partículas de hollín a las cuales están expuestas.
- Acumulación de hollín en el techo de los edificios: el hollín que es expulsado por los gases emitidos por las chimeneas se van acumulando en varios techos de la empresa.
- Afecta al medio ambiente: éste se ve contaminado por la presencia de partículas de hollín que son arrastrados por la velocidad de los vientos.

La mala calibración de relación aire-combustible, que es una causa de formación de hollín contiene los siguientes bloques:

- Cantidad de aire deficiente: la caldera se recomienda que trabaje con un 11,7% de exceso de aire, el cual es proporcionado por su compresor y ventilador.

- Exceso de combustible: la leva moduladora regula la cantidad de combustible que consume la caldera y al estar mal calibrada puede dejar pasar más búnker del recomendable, esto puede ocasionar problemas de acumulación de escoria en el interior de la misma.
- Falta de presión en el abastecimiento del combustible: la válvula de retorno es la encargada de nivelar la presión, y al tener una calibración incorrecta puede hacer que el búnker no tenga la suficiente fuerza para realizar la combustión correctamente.
- Falta de un filtro en el tramo de tubería de abastecimiento de combustible: al no existir un filtro que atrape los contaminantes presentes en el combustible, se reduce la eficiencia de la combustión.

Otra de las causas del problema en la empresa es la mala carburación de la unidad de combustión, ésta contiene las siguientes subcausas:

- Fallas de atomización: ésta es originada cuando el compresor de la caldera está presentado algún problema de abastecimiento de aire, necesario para la necesaria atomización del combustible.
- Boquillas tapadas: debido a la naturaleza del combustible, éste tienden a ensuciar los orificios de la boquilla, los cuales al estar obstruidos reducen la correcta combustión de la caldera. En la figura 4 se aprecia al quemador de la caldera de 750 BHP y su boquilla.

Figura 4. **Vista de perfil del quemador de la caldera de 750 BHP**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

En las figuras 5 y 6 se observa la boquilla de la caldera de 750 BHP.

Figura 5. **Vista frontal de la boquilla del quemador de la caldera de 750 BHP**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

Figura 6. **Vista de perfil de la boquilla del quemador de la caldera de 750 BHP**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

- Falta de tiro de la chimenea: la chimenea tiene la función de abastecer aire a la combustión y, también ser la encargada de expulsar los productos de la misma. Pero a la falta de tiro, se ve afectada, porque minimiza al abastecimiento de aire para la correcta quema del combustible.

Las dos causas que originan los problemas de diseño son las siguientes:

- Unidad de combustión mal diseñada: se refiere al quemador que debe poseer la caldera, el cual es el encargado de hacer el proceso de combustión del combustible.
- Hogar de caldera mal diseñada: es el lugar donde se da la transferencia de calor al agua, para cambiarle el estado de líquido a vapor.

2.1.6. Limitaciones

El estudio, que dará como resultado un sistema para minimizar la presencia de partículas de hollín en la empresa, estará planteado para suplir las condiciones que involucran a las calderas actualmente instaladas.

Pero, si se requiriere instalar otras calderas o bien cambiar alguna de las mismas, habrá que realizar otro estudio para encontrar la manera de satisfacer la nueva condición presente en la empresa.

2.1.7. Descripción de las calderas de la empresa

Actualmente, la empresa tiene a su disposición para la producción de vapor de agua tres calderas, las cuales se detallan a continuación.

2.1.7.1. Caldera de 500 BHP

La empresa cuenta con una caldera marca Superior, con potencia de 500 BHP y una presión de trabajo máxima de 200 Psi, esta caldera se usa a 90 Psi.

Figura 7. **Caldera de 500 BHP**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

2.1.7.2. Caldera de 600 BHP

La fábrica cuenta con una caldera marca Cleaver Brooks, modelo CB 600-600, con potencia de 600 BHP y una presión de trabajo máxima de 200 Psi, la presión de trabajo es de 90 Psi.

Figura 8. **Caldera de 600 BHP**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

2.1.7.3. **Caldera de 750 BHP**

La fábrica cuenta con una caldera marca Cleaver Brooks, modelo CB 600-750, con potencia de 7500 BHP y una presión de trabajo máxima de 150 Psi, esta caldera se usa a 90 Psi.

Figura 9. **Caldera de 750 BHP**

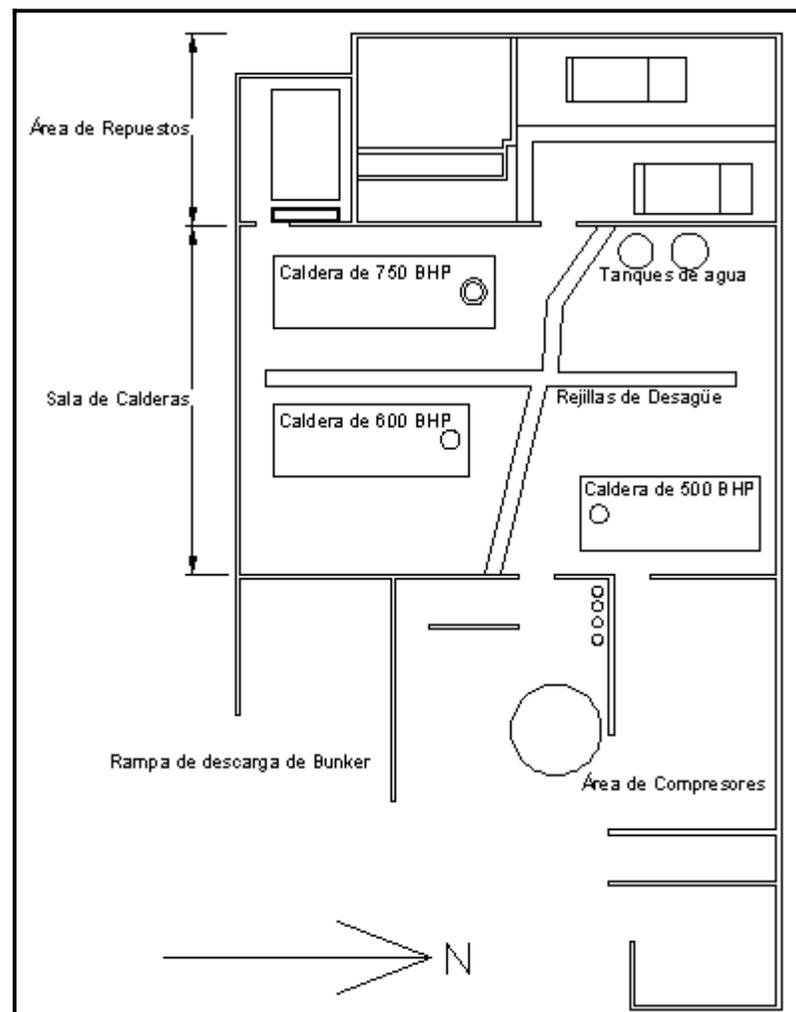


Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

2.1.8. Diagramas del cuarto de calderas

La distribución de la sala de calderas que tiene la empresa se detalla a continuación en la figura 10. En dicha figura se observa la sala de calderas donde se encuentran las calderas de 500 BHP, 600 BHP y 750 BHP, además, sus colindancias con el área de repuestos y el área de compresores.

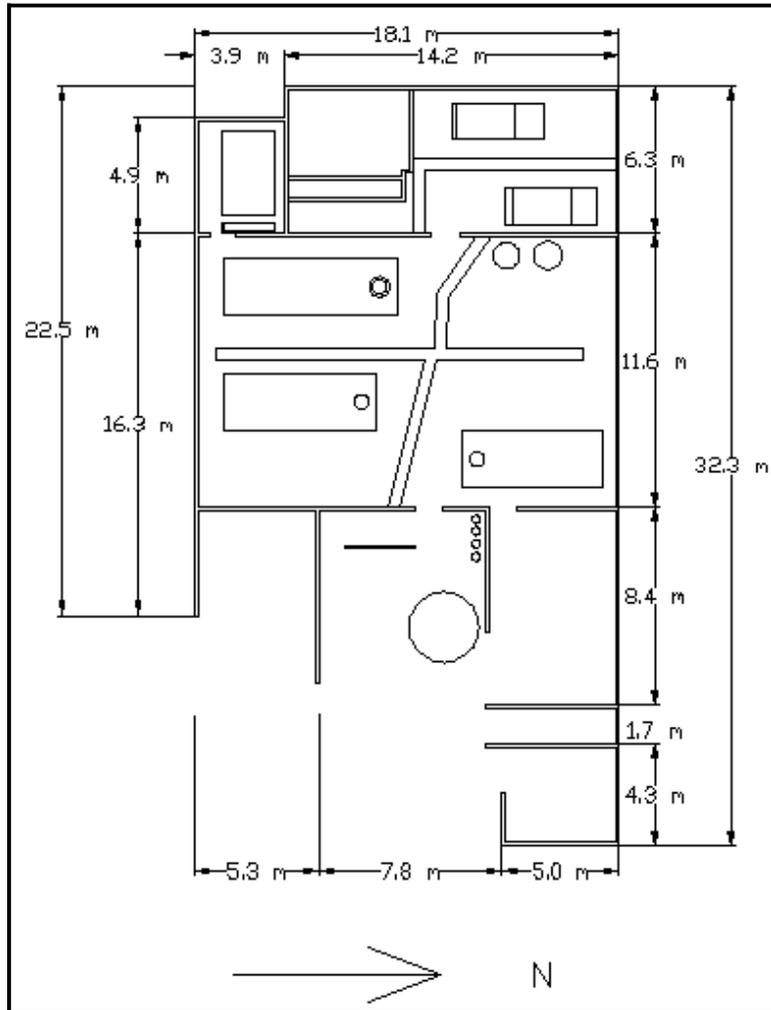
Figura 10. **Áreas de la sala de calderas**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 11 se ilustran las medidas de la sala de calderas, área de repuestos y área de compresores.

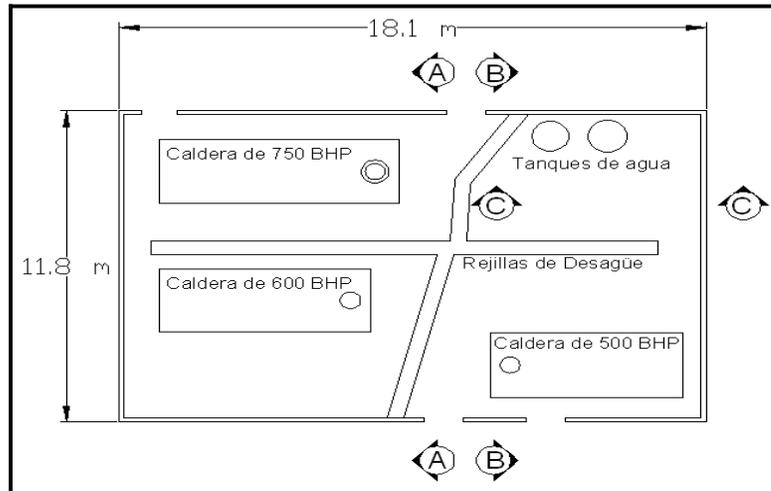
Figura 11. **Medidas del cuarto de calderas**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 12 se aprecian los cortes realizados a la sala de calderas para apreciar de una mejor manera a las calderas de 500 BHP, 600 BHP y 750 BHP, como también los tanques de agua.

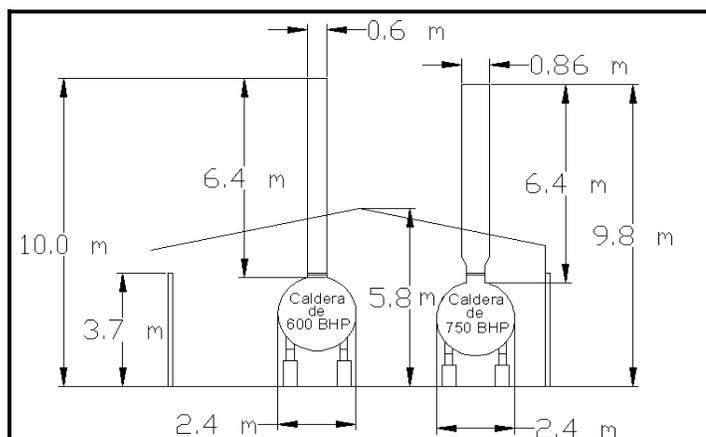
Figura 12. **Vista de los cortes realizados a la sala de calderas**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 13 se ilustra al corte A, en el cual se observan las medidas de las calderas de 600 BHP y 750 BHP.

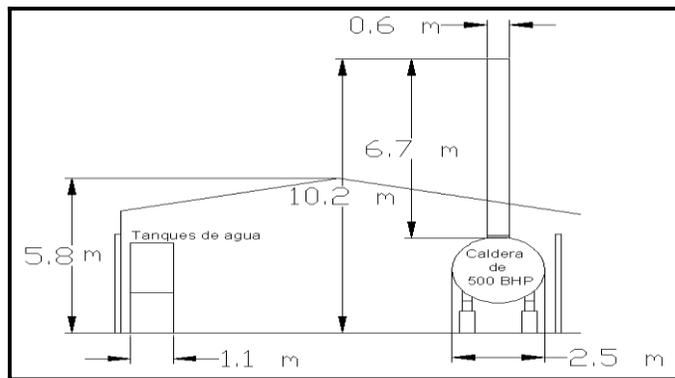
Figura 13. **Corte A**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 14 se ilustra al corte B, en el cual se observan las medidas de la calderas de 500 BHP.

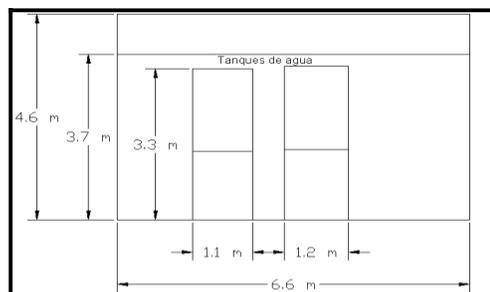
Figura 14. **Corte B**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 15 se ilustra al corte C, en el cual se observan las medidas de los tanques de agua.

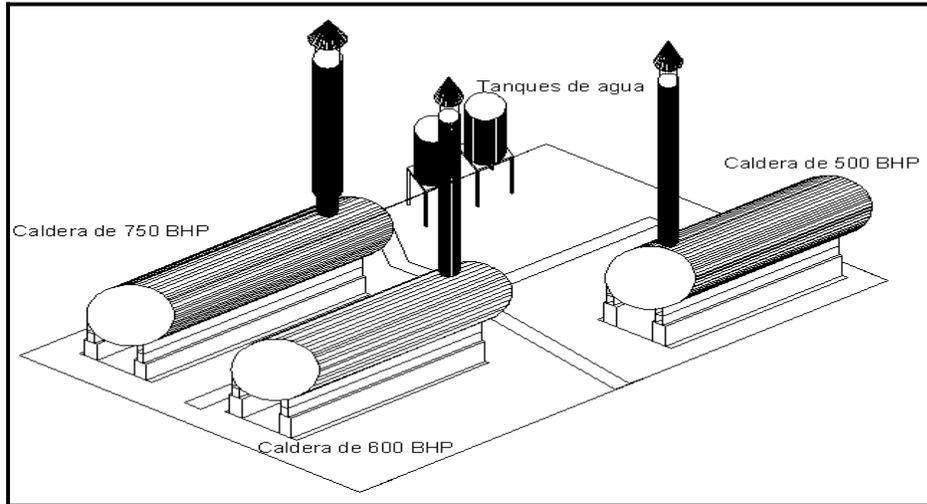
Figura 15. **Corte C**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 16 se ilustra la vista isométrica del área de calderas.

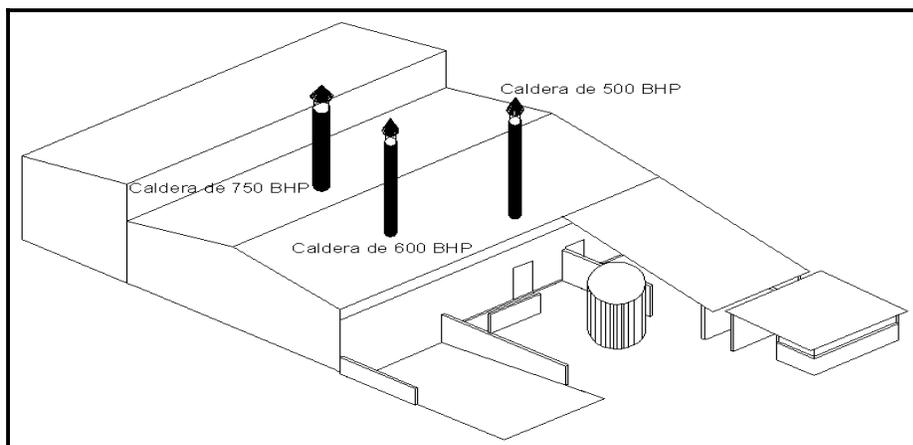
Figura 16. **Vista isométrica del área de calderas**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 17 se ilustra la vista isométrica de la parte exterior de la sala de caldera.

Figura 17. **Vista isométrica de la parte exterior de la sala de calderas**

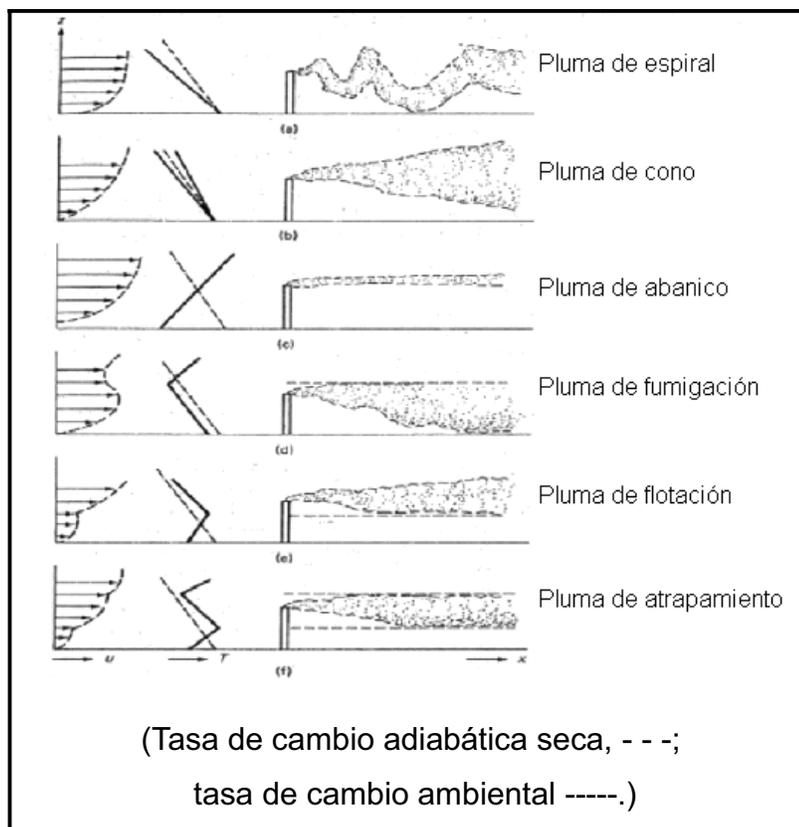


Fuente: elaboración propia.

2.1.9. Determinación de la pluma de la chimenea

La figura 18 ilustra los distintos tipos de plumas que pueden presentarse en las chimeneas de cualquier caldera.

Figura 18. **Perfiles de plumas de chimeneas**



Fuente: WARK, Kenneth y WARNER, Cecil. Contaminación del aire: origen y control. p. 131.

En la figura 18 se observan perfiles típicos de velocidad, temperatura y forma de las plumas en el sistema de coordenadas x-z, para diversas condiciones atmosféricas.

Los tipos de plumas son los siguientes:

- De espiral: gran inestabilidad.
- De cono: cerca de la estabilidad neutral.
- De abanico: inversión de superficie.
- De fumigación: inversión de flotación.
- De flotación: inversión por debajo de la chimenea.
- De atrapamiento: inversión por debajo y por encima de la altura de la chimenea.

De la información anterior, se procede a determinar la pluma de las chimeneas de las calderas.

2.1.9.1. Pluma de la chimenea de la caldera de 500 BHP

La pluma de la chimenea, según observaciones directas, varía de espiral a cono, esto debido a la variación de la velocidad del viento, así también, de la temperatura del ambiente. Además, la chimenea tiene un diámetro de 0,6 m, una longitud de 6,7 m y la altura que tiene desde el nivel del suelo es de 10,2 m.

2.1.9.2. Pluma de la chimenea de la caldera de 600 BHP

Esta chimenea tiene un diámetro de 0,6 m, una longitud de 6,4 m y la altura que tiene desde el nivel del suelo es de 10,0 m, su pluma varía de espiral a cono.

2.1.9.3. Pluma de la chimenea de la caldera de 750 BHP

La altura de la chimenea desde el nivel del suelo es 9,8 m, tiene una pluma de espiral a cono, su diámetro es 0,86 m y su longitud es 6,4 m.

En las tres chimeneas se presentan los mismos tipos de plumas, esto debido a que no varía significativamente la ubicación de una a otra.

2.1.10. Aplicación de las cartas de Ringelman a las chimeneas

Se realizó el estudio de las cartas de Ringelman en las chimeneas de las tres calderas para determinar su densidad aparente visual.

Figura 19. **Aplicación de las cartas de Ringelman**



Fuente: elaboración propia.

El cálculo de la densidad aparente visual se efectúa, aplicando la siguiente fórmula:

$$DAV = \frac{NE * 20}{N}$$

Donde:

- DAV = densidad aparente visual del humo
 NE = número total de equivalente al número I
 N = número total de lecturas
 20 = equivalencia en porcentaje de densidad del número I

2.1.10.1. Datos obtenidos

Los datos obtenidos de la aplicación de las cartas de Ringelman son:

- Para la chimenea de la caldera de 500 BHP: los resultados se aprecian en la tabla III.

Tabla III. Datos obtenidos de la caldera de 500 BHP

No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.	No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.
1	1	1	1	0	16	1	1	2	2
2	1	0	0	1	17	2	3	2	3
3	1	1	2	2	18	3	2	3	3
4	1	1	2	3	19	3	2	2	2
5	2	2	2	1	20	3	2	2	2
6	1	1	1	0	21	1	1	1	2
7	1	1	2	2	22	2	3	3	2

Continuación de la tabla III.

8	2	3	2	2	23	1	1	1	1
9	3	2	2	2	24	2	2	2	3
10	3	2	1	2	25	3	3	2	2
11	2	3	3	2	26	2	2	2	2
12	3	3	2	2	27	1	1	1	2
13	3	2	3	3	28	2	1	1	1
14	2	2	2	3	29	1	2	1	1
15	3	2	2	1	30	1	2	2	1
No.	15	30	45	60	No.	15	30	45	60
	Seg.	Seg.	Seg.	Seg.		Seg.	Seg.	Seg.	Seg.
31	1	1	1	1	46	1	0	1	1
32	2	2	1	2	47	2	1	2	1
33	1	2	1	2	48	1	2	1	2
34	2	1	1	1	49	1	1	2	1
35	2	2	1	0	50	1	1	1	2
36	1	1	1	1	51	2	1	1	0
37	2	2	1	0	52	0	0	1	1
38	1	1	1	1	53	2	2	2	1
39	2	2	2	2	54	2	1	2	2
40	1	1	2	1	55	2	2	1	2
41	2	1	2	1	56	2	1	1	0
42	1	1	2	2	57	0	1	1	1
43	2	1	0	1	58	1	2	2	2
44	1	1	2	2	59	1	2	1	2

Continuación de la tabla III.

45	2	1	1	1	60	2	2	1	1
-----------	---	---	---	---	-----------	---	---	---	---

Fuente: elaboración propia.

- Para la chimenea de la caldera de 600 BHP: los resultados se aprecian en la tabla IV.

Tabla IV. **Datos obtenidos de la caldera de 600 BHP**

No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.	No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.
1	1	1	2	1	16	1	1	1	1
2	0	1	1	0	17	1	0	0	1
3	0	1	1	0	18	0	1	1	1
4	0	0	1	1	19	2	1	1	0
5	1	1	1	1	20	1	1	0	1
6	0	0	2	2	21	0	1	1	0
7	1	0	1	1	22	1	1	1	1
8	1	1	1	1	23	0	0	1	1
9	0	0	0	1	24	1	1	1	0
10	0	1	1	1	25	1	0	1	1
11	1	0	1	0	26	1	0	1	0
12	0	0	1	1	27	0	1	1	1
13	1	2	2	1	28	1	0	1	2
14	2	1	1	1	29	2	1	2	1

Contaminación de la tabla IV.

15	0	1	1	1	30	1	0	1	1
No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.	No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.
31	1	1	1	1	46	1	1	0	1
32	1	1	0	1	47	1	2	2	1
33	1	0	1	1	48	1	1	1	1
34	1	1	1	1	49	0	0	1	0
35	2	2	2	1	50	1	1	1	0
36	0	1	1	1	51	1	2	2	1
37	1	1	1	1	52	1	1	1	2
38	1	2	2	1	53	1	0	0	0
39	1	1	1	1	54	1	1	1	1
40	1	1	0	1	55	1	0	1	1
41	0	0	1	0	56	0	1	1	1
42	1	1	2	2	57	1	0	0	1
43	2	1	1	1	58	0	1	1	2
44	0	0	1	1	59	2	2	1	1
45	1	0	1	1	60	0	1	1	1

Fuente: elaboración propia.

- Para la chimenea de la caldera de 750 BHP: los resultados se aprecian en la tabla V.

Tabla V. Datos obtenidos de la caldera de 750 BHP

No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.	No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.
1	1	1	0	1	16	0	1	0	1
2	2	1	1	0	17	1	1	1	1
3	1	2	1	1	18	1	2	1	0
4	1	2	1	0	19	0	1	1	1
5	2	1	0	1	20	0	1	1	1
6	2	1	2	1	21	2	2	1	1
7	2	2	1	3	22	1	1	0	1
8	2	1	1	0	23	1	1	1	0
9	1	0	2	2	24	1	0	0	1
10	2	2	2	2	25	1	0	1	2
11	2	1	2	0	26	2	2	2	2
12	2	2	0	1	27	1	1	2	2
13	2	2	1	1	28	0	0	2	2
14	1	0	1	1	29	1	0	0	1
15	1	1	1	1	30	0	1	0	0
No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.	No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.
31	0	1	2	2	46	1	2	1	1
32	0	1	1	1	47	1	2	0	1
33	1	1	0	0	48	1	1	1	1
34	1	0	2	2	49	1	0	0	1
35	1	0	1	1	50	1	1	1	1

Continuación de la tabla V.

36	1	1	1	0	51	1	1	1	1
37	1	1	0	1	52	0	1	1	1
38	0	1	1	1	53	1	0	1	0
39	1	1	1	1	54	1	1	2	2
40	1	1	0	1	55	0	1	0	1
41	1	1	1	0	56	0	0	1	1
42	1	1	1	1	57	2	0	0	1
43	1	1	1	1	58	1	1	0	1
44	1	2	2	2	59	0	1	1	1
45	1	1	1	1	60	1	1	1	1

Fuente: elaboración propia.

2.1.10.2. Cálculos y análisis

Los datos obtenidos luego de la aplicación de las cartas de Ringelman son:

- Chimenea de la caldera de 500 BHP: luego de la aplicación de las cartas de Ringelman, se resumen los datos en la tabla VI, y se procede a encontrar la DAV.

Tabla VI. **Resumen de datos de caldera de 500 BHP**

	Lecturas	Tarjetas	Equivalentes al No.
	13	0	0
	101	1	101
	101	2	202
	25	3	75
	0	4	0
	0	5	0
Total	240		378

Fuente: elaboración propia.

De la tabla VI se puede apreciar que N toma el valor de 240 y NE el valor de 378, dichos datos son aplicados en la siguiente ecuación:

$$DAV = \frac{NE * 20}{N}$$

$$DAV = \frac{378 * 20}{240}$$

$$DAV = 31,50\%$$

El valor obtenido de la densidad aparente visual es 31,50% y en comparación con el valor de 51%, el cual indica una contaminación ambiental por humos, se concluye que no se está contaminando al medio ambiente.

- Chimenea de la caldera de 600 BHP: luego de la aplicación de las cartas de Ringelman, se resumen los datos en la tabla VII, y se procede a encontrar la DAV.

Tabla VII. **Resumen de datos de caldera de 600 BHP**

	Lecturas	Tarjetas	Equivalentes al No. I
	58	0	0
	156	1	156
	26	2	52
	0	3	0
	0	4	0
	0	5	0
Total	240		208

Fuente: elaboración propia.

De la tabla VII se puede apreciar que N toma el valor de 240 y NE el valor de 208, dichos datos son aplicados en la siguiente ecuación:

$$DAV = \frac{NE * 20}{N}$$

$$DAV = \frac{208 * 20}{240}$$

$$DAV = 17,33\%$$

El valor obtenido de la densidad aparente visual es 17,33% y en comparación con el valor de 51%, el cual indica una contaminación ambiental por humos, se concluye que no se está contaminando al medio ambiente.

- Chimenea de la caldera de 750 BHP: luego de la aplicación de las cartas de Ringelman, se resumen los datos en la tabla VIII, y se procede a encontrar la DAV.

Tabla VIII. **Resumen de datos de caldera de 750 BHP**

	Lecturas	Tarjetas	Equivalentes al No. I
	51	0	0
	143	1	143
	45	2	90
	1	3	3
	0	4	0
	0	5	0
Total	240		236

Fuente: elaboración propia.

De la tabla VIII se puede apreciar que N toma el valor de 240 y NE el valor de 236, dichos datos son aplicados en la siguiente ecuación:

$$DAV = \frac{NE * 20}{N}$$

$$DAV = \frac{236 * 20}{240}$$

$$\text{DAV} = 19,67\%$$

El valor obtenido de la densidad aparente visual es 19,67% y en comparación con el valor de 51%, el cual indica una contaminación ambiental por humos, se concluye que no se está contaminando al medio ambiente.

2.1.11. Puntos de control de hollín

Para controlar la presencia de hollín en las áreas de estudio se utilizarán bolsas de plástico y frascos de vidrio con las siguientes características:

Tabla IX. **Características de las bolsas de plástico y frascos de vidrio**

Bolsas de plástico		<u>Frascos de vidrio</u>	
<u>Característica</u>	<u>Valor</u>	<u>Característica</u>	<u>Valor</u>
Ancho	35 cm	Diámetro	4,5 cm
Largo	89 cm	Alto	6 cm
Área	3 115 cm ²	Volumen	95,42 cm ³

Fuente: elaboración propia.

2.1.11.1. Áreas de estudio

Las muestras de hollín han sido recolectadas en los siguientes lugares: taller de tornos, sala de calderas y área de producción. En la tabla X se ilustra el código de colores realizado para identificar las áreas de estudio.

Tabla X. **Código de colores**

Área de estudio	Color
Taller de tornos	Azul
Sala de calderas	Rojo
Área de producción	Verde

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XI se ilustra la etiqueta propuesta para la identificación de las muestras de hollín.

Tabla XI. **Etiqueta**

<u>MUESTRA DE HOLLÍN</u>	
Color de identificación:	
Lugar:	
Fecha de muestreo:	
Peso:	

Fuente: elaboración propia.

2.1.11.2. Recolección de muestras

Las muestras de hollín, luego de su recolección, se les introdujo en frascos y se les colocó su respectiva etiqueta, también, se le indicó la fecha de muestreo y su peso.

Las siguientes ilustraciones muestran los frascos de vidrio con el hollín recolectado de las diferentes áreas de estudio.

Figura 20. **Muestras de hollín del taller de torno**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Muestras de hollín de la sala de calderas**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Muestras de hollín del área de producción**



Fuente: elaboración propia.

2.1.11.3. Cálculo de resultados

En el cálculo de resultados se utilizaron las siguientes fórmulas para encontrar la media, varianza y desviación estándar de las muestras de hollín recolectadas en los lugares de control.

$$\bar{X} = \frac{x}{n}$$

Donde:

\bar{X} = media
x = valores
n = total de valores

$$s^2 = \frac{(x^2)}{n} - (\bar{X})^2$$

Donde:

s^2 = varianza
 \bar{X} = Media
x = Valores
n = total de valores

$$s = \sqrt{s^2}$$

Donde:

s = desviación estándar

s² = Varianza

- Taller de torno: en la figura 23 se observan las muestras de hollín del taller de torno.

Figura 23. Frascos etiquetados del taller de torno



Fuente: elaboración propia.

Se tabulan en la tabla XII los valores obtenidos del muestreo en el taller de torno para calcular la media, varianza y desviación estándar.

Tabla XII. Tabulación de datos del área de torno

Muestra	Fecha		Peso		
			Frasco		Hollín
			vació	con hollín	
			g	g	g
1	25/04/2011	29/05/2011	103,28	104,98	1,70
2	02/05/2011	06/05/2011	107,39	111,30	3,91
3	09/05/2011	13/05/2011	103,72	104,15	0,43
4	16/05/2011	20/05/2011	107,48	108,04	0,56
5	23/05/2011	27/05/2011	105,96	106,40	0,44

Fuente: elaboración propia.

- Ahora se calcula:
 - Media

$$\bar{X} = \frac{1,7 \text{ g} + 3,91 \text{ g} + 0,43 \text{ g} + 0,56 \text{ g} + 0,44 \text{ g}}{5} = 1,4 \text{ g}$$

- Varianza

$$s^2 = \frac{1}{5} [(1,7 \text{ g})^2 + (3,91 \text{ g})^2 + (0,43 \text{ g})^2 + (0,56 \text{ g})^2 + (0,44 \text{ g})^2] - (1,4 \text{ g})^2$$

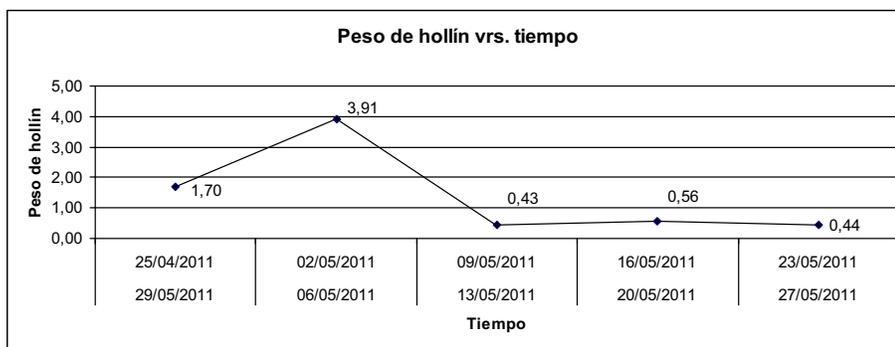
$$s^2 = 3,77 \text{ g}^2 - 1,96 \text{ g}^2 = 1,81 \text{ g}^2$$

- Desviación estándar

$$s = \sqrt{1,81 \text{ g}^2} = 1,34 \text{ g}$$

En la figura 24 se aprecia la cantidad de hollín recolectado en el taller de torno por cada semana de estudio.

Figura 24. **Período de recolección de muestras de hollín en el taller de torno**



Fuente: elaboración propia.

- Sala de calderas: en la figura 25 se observan las muestras de hollín de la sala de calderas.

Figura 25. Frascos etiquetados de la sala de calderas



Fuente: elaboración propia.

Se tabulan en la tabla XIII los valores obtenidos del muestreo en la sala de calderas para calcular la media, varianza y desviación estándar.

Tabla XIII. Tabulación de datos de la sala de calderas

Muestra	Fecha		Peso		
			Frasco		Hollín
			vacio	con hollín	
			g	g	
1	25/04/2011	29/05/2011	107,20	109,57	2,37
2	02/05/2011	06/05/2011	103,56	108,07	4,51
3	09/05/2011	13/05/2011	104,94	105,23	0,29
4	16/05/2011	20/05/2011	103,46	104,30	0,84
5	23/05/2011	27/05/2011	103,66	104,50	0,84

Fuente: elaboración propia.

- Ahora se calcula:

- Media

$$\bar{x} = \frac{2,37 \text{ g} + 4,51 \text{ g} + 0,29 \text{ g} + 0,84 \text{ g} + 0,84 \text{ g}}{5} = 1,77 \text{ g}$$

- Varianza

$$s^2 = \frac{1}{5} [(2,37 \text{ g})^2 + (4,51 \text{ g})^2 + (0,29 \text{ g})^2 + (0,84 \text{ g})^2 + (0,84 \text{ g})^2] - (1,77 \text{ g})^2$$

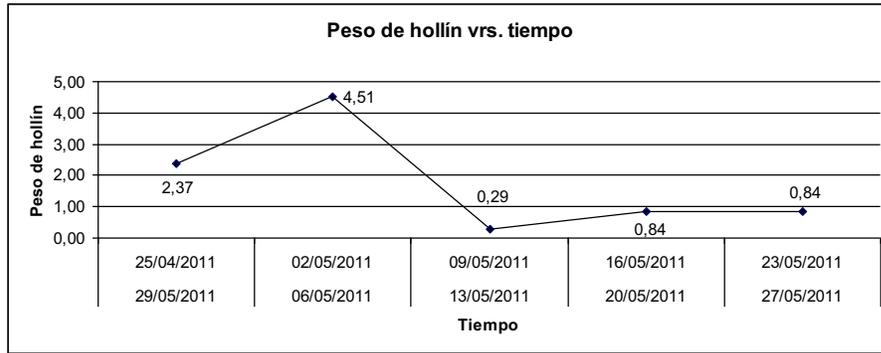
$$s^2 = 5,49 \text{ g}^2 - 3,13 \text{ g}^2 = 2,36 \text{ g}^2$$

- Desviación estándar

$$s = \sqrt{2,36 \text{ g}^2} = 1,53 \text{ g}$$

En la figura 26 se aprecia la cantidad de hollín recolectado en la sala de calderas por cada semana de estudio.

Figura 26. **Período de recolección de muestras de hollín en la sala de calderas**



Fuente: elaboración propia.

- Área de producción: en la figura 27 se observan las muestras de hollín del área de producción.

Figura 27. **Frascos etiquetados del área de producción**



Fuente: elaboración propia.

Se tabulan en la tabla XIV los valores obtenidos del muestreo en el área de producción para calcular la media, varianza y desviación estándar.

Tabla XIV. **Tabulación de datos del área de producción**

Muestra	Fecha		Peso		
			Frasco		Hollín
			vacio	con hollín	
			g	g	g
1	25/04/2011	29/05/2011	103,61	105,18	1,57
2	02/05/2011	06/05/2011	107,53	110,27	2,74
3	09/05/2011	13/05/2011	107,25	107,33	0,08
4	16/05/2011	20/05/2011	104,63	105,77	1,14
5	23/05/2011	27/05/2011	104,51	104,92	0,41

Fuente: elaboración propia.

- Ahora se calcula:

- Media:

$$\bar{X} = \frac{1,57 \text{ g} + 2,74 \text{ g} + 0,08 \text{ g} + 1,14 \text{ g} + 0,41 \text{ g}}{5} = 1,18 \text{ g}$$

- Varianza:

$$s^2 = \frac{1}{5} [(1,57 \text{ g})^2 + (2,74 \text{ g})^2 + (0,08 \text{ g})^2 + (1,14 \text{ g})^2 + (0,41 \text{ g})^2] - (1,18 \text{ g})^2$$

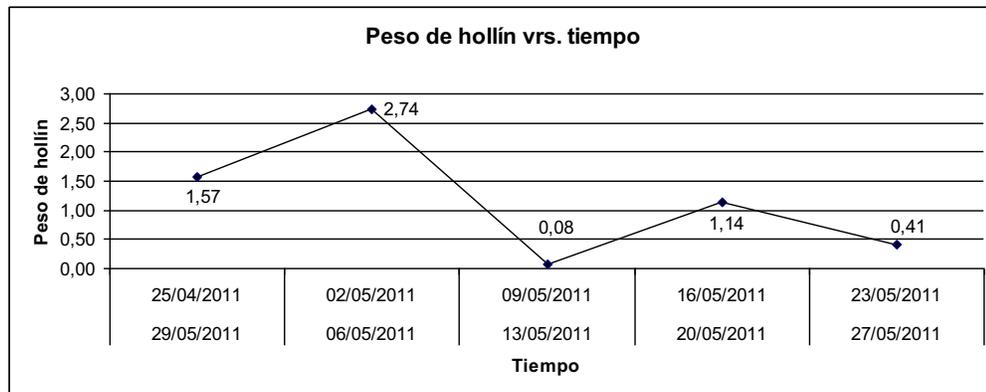
$$s^2 = 2,28 \text{ g}^2 - 1,39 \text{ g}^2 = 0,89 \text{ g}^2$$

- Desviación estándar:

$$s = \sqrt{0,89 \text{ g}^2} = 0,94 \text{ g}$$

En la figura 28 se aprecia la cantidad de hollín recolectado en el área de producción por cada semana de estudio.

Figura 28. **Período de recolección de muestras de hollín en el área de producción**



Fuente: elaboración propia.

- Análisis de resultados de los puntos de control de hollín: al finalizar el proceso de toma de muestras en los tres lugares seleccionados, se hacen las siguientes observaciones:
 - En las tres gráficas de peso de hollín vrs. tiempo, existe gran presencia de hollín en la segunda semana de estudio.
 - El mayor peso retenido en las muestras es de 4,51 g en la sala de calderas.

- El área de producción presenta en promedio menos cantidad de hollín.
- Los valores de muestras tomadas en el taller de torno siempre estan en medio los otros dos lugares de muestreo.

Tabla XV. **Resumen de datos de las muestras de hollín**

	Peso del hollín		
	Taller de torno	Sala de calderas	Área de producción
Muestra	g	g	g
1	1,70	2,37	1,57
2	3,91	4,51	2,74
3	0,43	0,29	0,08
4	0,56	0,84	1,14
5	0,44	0,84	0,41

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Resumen de media, varianza y desviación estándar de las muestras de hollín**

	\bar{X}	S^2	S
	g	g²	g
Taller de torno	1,40	1,81	1,34
Sala de calderas	1,77	2,36	1,53
Área de producción	1,18	0,89	0,94

Fuente: elaboración propia.

- De la tabla XVI se hacen las siguientes observaciones:
 - De las tres desviaciones estándar presentadas, el área de producción tiene la menor, esto porque sus datos tienen menos incertidumbre debido a su cercanía al valor central o promedio.
 - La sala de calderas posee la mayor desviación estándar, indicando que sus datos están alejados de su valor medio.
 - El valor de la desviación estándar del taller de torno se encuentra en medio de los otros dos lugares de estudio.

2.2. Propuesta de mejora

Para solucionar el inconveniente de la presencia de hollín existen varios métodos de captación, por ejemplo: el tubo venturi, cámaras de sedimentación gravitacional, separadores de sólidos o ciclones, cámaras de aspersion, scrubbers, etc.

Para determinar el método a utilizar, primero se conocerán los productos de la combustión del búnker en una caldera, esto con el fin de conocer si pueden influir en el sistema a elegir.

Los productos de la combustión son los siguientes:

- Anhídrido carbónico o dióxido de carbono (CO_2)
- Monóxido de carbono (CO)
- Oxígeno (O_2)
- Anhídrido sulfuroso o dióxido de azufre (SO_2)
- Anhídrido sulfúrico (SO_3)
- Sulfuro de hidrógeno (H_2S)

- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Agua (H_2O)
- Nitrógeno (N_2)
- Ceniza
- Hollín

De los anteriores elementos, el dióxido de azufre al combinarlo con agua forma ácido sulfúrico (H_2SO_4), provocando corrosión al material del que se elabore el colector de hollín, salvo si el material es lamina de acero inoxidable pero aumentando considerablemente el monto de realización, por tal razón se buscó un método de recolección seco, descartando las opciones de tubo venturi, cámaras de aspersión y scrubbers.

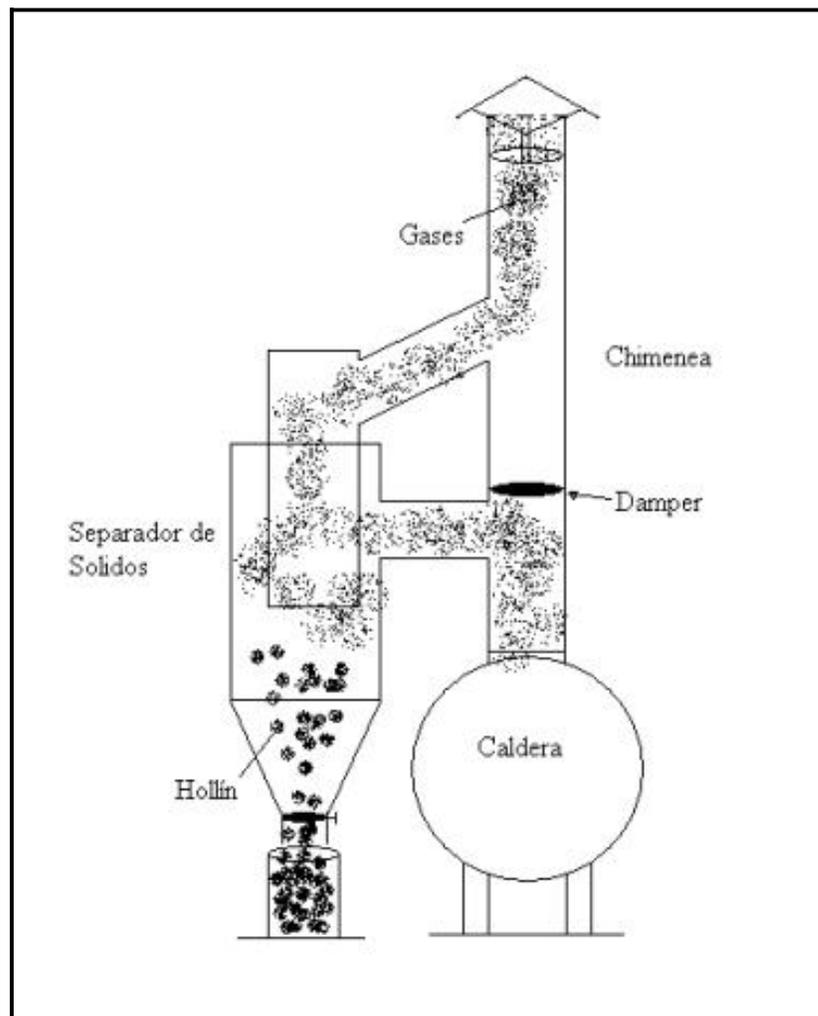
Las opciones que se tienen a disposición son: cámaras de sedimentación y ciclones, de éstos el primero tiene dos inconvenientes:

- Tamaño de partícula que atrapa: se puede observar en los anexos 1 y 2, que las partículas de hollín presentan tamaños menores a $50\ \mu\text{m}$, esto trae como consecuencia que si se diseña una cámara de sedimentación para atrapar dichos tamaños ocasionaría que tenga un volumen excesivo, además el valor antes citado es el tamaño mínimo que puede atrapar dicho elemento.
- Velocidad de trabajo: para cámaras de sedimentación se trabaja con una velocidad de entrada de $0,3\ \text{m/s}$ a $3,0\ \text{m/s}$, y se observa que la velocidad de los gases expulsados en la chimenea de una caldera es de $9,69\ \text{m/s}$, según la tabla XXIV.

2.2.1. Ciclón colector de hollín

Luego de analizar el problema, se determinó la realización del diseño de un colector de hollín tipo ciclón además se encontró bibliografía donde se observa la instalación de ciclones en chimeneas de calderas similares a las que posee la empresa como se observa en la figura 29.

Figura 29. Vista de un ciclón instalado en la chimenea de una caldera



Fuente: LÓPEZ RAMÍREZ, Mario Amilcar. Montaje, instalación, mantenimiento..., p. 37.

A continuación se procederá a determinar los datos necesarios para la realización del ciclón, posteriormente se realizará el diseño correspondiente para una, dos y tres calderas con la condición de funcionar simultáneamente y finalmente, escoger el ciclón que mejor se adapta a las necesidades de la empresa.

2.2.1.1. Datos necesarios para el diseño del ciclón

Es necesario conocer las siguientes variables para el dimensionamiento del ciclón:

- Caudal, presión, viscosidad dinámica, temperatura y densidad de los gases de combustión
- Tamaño y densidad del hollín
- Concentración de partículas de hollín en los gases de combustión

Para determinar las variables necesarias para el diseño del ciclón se han utilizado las siguientes herramientas:

- Tubo de Prandtl y estudio de granulometría
- Tabla de la densidad y viscosidad del aire en función de la temperatura
- Peso del hollín y volumen que ocupa en un recipiente cilíndrico

2.2.1.2. Estudio granulométrico de hollín

El estudio granulométrico consiste en conocer el tamaño del grano de hollín, que se desarrollará en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) para lo cual se han tomado las siguientes fotografías de las muestras de hollín.

Figura 30. **Peso del recipiente de toma de muestras de hollín**



Fuente: elaboración propia.

Al pesar el recipiente, en el cual se colocaría la muestra de hollín, dio un valor de 37,34 g.

Figura 31. **Peso de los recipientes de toma de muestras de hollín**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 31 se observan las muestras de hollín recolectadas, las cuales pesan 1 289,03 g; al restarle a este valor el peso de los cuatro recipientes utilizados, da como resultado un valor de 1 139,67 gramos de hollín.

Los resultados de los anexos 1 y 2, se ilustran en la tabla XVII, la cual contiene las siguientes columnas:

- No. de tamiz: identifica al tamiz utilizado.
- Tamaño: indica el grosor de los agujeros de la malla del tamiz.
- Rango: expresa los tamaños de partículas que contiene.
- Porcentaje de peso retenido: es el porcentaje de hollín retenido.
- Porcentaje de peso acumulado: es la suma de los pesos retenidos de los diferentes rangos.

La interpretación de la tabla XVII es:

- El tamiz número 70 tiene un rango de 210 μm a valores mayores, porque en éste se concentran las partículas de gran tamaño de la muestra de hollín.
- El rango de 0 μm a 74 μm es de esta naturaleza, porque en el fondo se concentran las partículas de tamaño menor a 74 μm .
- Estos resultados sirven para conocer el tipo de ciclón a utilizar y la estimación de la distribución de tamaño de las partículas en la corriente gaseosa.

Tabla XVII. **Resultados del estudio realizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII)**

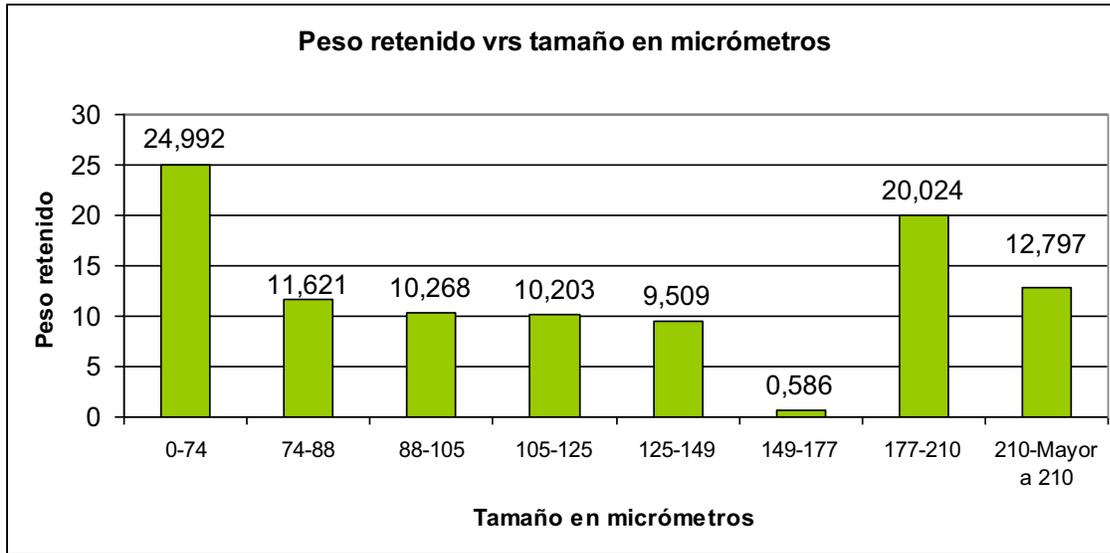
No. de tamiz	Tamaño en μm	Rango en μm	Porcentaje de peso retenido (%)	Porcentaje de peso acumulado (%)
70	210	Mayor a 210 - 210	12,797	12,797
80	177	210 - 177	20,024	32,821
100	149	177 - 149	0,586	33,407
120	125	149 - 125	9,509	42,916
140	105	125 - 105	10,203	53,119
170	88	105 - 88	10,268	63,387
200	74	88 - 74	11,621	75,008
Fondo		74 - 0	24,992	100,000

Fuente: elaboración propia.

La interpretación de la figura 32, se detalla a continuación:

- Existen 8 rangos.
- El rango que contiene la mayor cantidad porcentaje de peso retenido es de 0 μm a 74 μm , con un 24,992%.
- El rango de 177 μm a 210 μm presenta un 20,024% de peso retenido, siendo el segundo porcentaje más alto.
- El rango de 149 μm a 177 μm no contiene gran cantidad de porcentaje de peso retenido.
- El resto de rangos oscilan su valor de porcentaje de peso retenido entre un 9,509% a 12,797%.

Figura 32. **Peso retenido vrs tamaño en micras del hollín**



Fuente: elaboración propia.

2.2.1.3. **Densidad de gas de descarga**

La densidad del gas de descarga está en función de la temperatura, este valor es el que presenta la chimenea de la caldera de 750 BHP, el cual es de 150 °C.

Se ha elegido esta chimenea debido a que presenta una mayor potencia y diámetro de salida. Del anexo 3 se toman los valores a utilizar y se resumen en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. **Valores utilizados para encontrar la densidad del gas de descarga**

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m³)
140	0,854
150	D
160	0,815

Fuente: elaboración propia.

Ahora se procede a interpolar para encontrar el valor deseado.

$$\frac{D - 0,854}{0,815 - 0,854} = \frac{150 - 140}{160 - 140}$$

$$D = 0,8345 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

2.2.1.4. Peso específico del gas de descarga

Con la densidad encontrada se procede a calcular el peso específico del aire, aplicando la siguiente fórmula:

$$Y = \sigma \times g$$

Donde:

Y = peso específico, en N/m³

σ = densidad, en Kg/m³

g = aceleración gravitacional, en m/s²

$$Y = 0,8345 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$Y = 8,186 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$Y = 8,186 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ KN}}{1000 \text{ N}}$$

$$Y = 0,008186 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

2.2.1.5. Caudal de gas de descarga

El caudal del gas de descarga es fundamental conocerlo debido a su importancia en el diseño del ciclón, para esto se obtendrá la velocidad de los mismos en la chimenea de la caldera de 750 BHP, porque posee un diametro mayor.

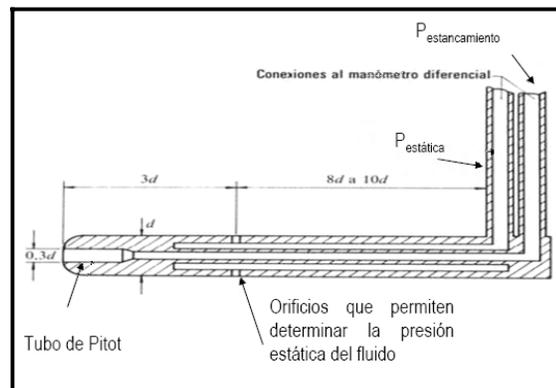
2.2.1.6. Presiones de gas de descarga

El tubo de Prandtl se utilizará para medir las presiones presentes en el gas de descarga las cuales son: presión estática, dinámica y total.

- Construcción de un tubo de Prandtl: se ha seleccionado el tubo de Prandtl debido a su configuración natural, la cual permite que se inserte en la chimenea, porque ésta se mantiene a una temperatura de 150 °C.

El tubo de Prandtl une al tubo de Pitot y a un medidor de presión como el manómetro en U, para tener en un único dispositivo todo lo necesario para conocer la velocidad y las presiones de fluidos en movimiento.

Figura 33. Características del tubo de Prandtl



Fuente: WIKIPEDIA. http://es.wikipedia.org/wiki/Tubo_de_Prandtl. Consulta: mayo de 2011.

- Diseño: como se observa en la figura 33, el tubo de Prandtl en esencia es un tubo dentro de otro tubo, pero a lo largo de su existencia ha sido modificado para que cumpla mejor con su propósito, por eso debe cumplir con la siguiente relación de diámetros.

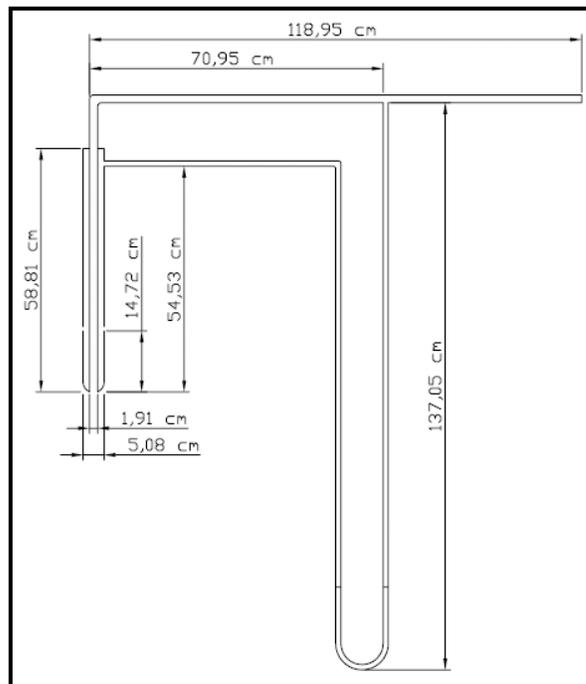
$$\frac{d_{\text{interior}}}{d_{\text{exterior}}} = 0,3$$

Para fines prácticos se ha escogido un tubo de 2" y de $\frac{3}{4}$ " de diámetro como los tubos exterior e interior respectivamente.

$$\frac{d_{\text{interior}}}{d_{\text{exterior}}} = \frac{\frac{3}{4}''}{2''} = \frac{1,91 \text{ cm}}{5,08 \text{ cm}} = 0,375$$

Esto debido a la existencia de esos dos tubos en el área de material de reciclaje del departamento de mantenimiento.

Figura 34. **Medidas del tubo de Prandtl**



Fuente: elaboración propia.

- Costo de materiales: la realización del tubo de Prandtl requirió de los materiales que se ilustran en la tabla XIX.

Tabla XIX. **Costo de materiales**

Cantidad	Material	Medida	Precio Unitario	Costo
1	Tubo de hierro galvanizado liviano	Ø 3/4 "	Q. 125,40	Q. 125,40
1	Te de hierro galvanizado cedula 40	Ø 3/4 "	Q. 19,50	Q. 19,50
1	Tapón de hierro galvanizado cedula 40	Ø 3/4 "	Q. 7,00	Q. 7,00
1	Codo de hierro galvanizado cedula 40	Ø 3/4 "	Q. 6,95	Q. 6,95
1	Reducidor de Ø ¾" a Ø 1/4" hierro galvanizado		Q. 7,15	Q. 7,15
0,7095 m	Tubo de acero inox tipo sanitario	Ø 10 mm	Q. 47,68	Q. 33,83
0,5881 m	Tubo de acero inox tipo sanitario	Ø 2 "	Q. 200,00	Q. 117,62
			Total	<u>Q. 317,45</u>

Fuente: elaboración propia.

- Fabricación: en las figuras 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 y 42 se muestran las fotos del proceso de la construcción del tubo de Prandtl.

- Corte de los tubos a utilizar en la elaboración del tubo de Prandtl.

Figura 35. **Corte de tubos**



Fuente: elaboración propia.

- Tornear las partes a utilizar para poderlas acoplar.

Figura 36. **Piezas en el torno**



Fuente: elaboración propia.

- Luego de la soldadura se esmerilaron las piezas.

Figura 37. **Pieza esmerilada**



Fuente: elaboración propia.

- Perforar los agujeros por donde se apreciará la presión estática.

Figura 38. **Perforación de agujeros**



Fuente: elaboración propia.

- Utilizar soldadura, para unir las piezas.

Figura 39. **Soldadura en las piezas**



Fuente: elaboración propia.

- Colocar acoples para la manguera que es utilizada como manómetro.

Figura 40. **Colocación de acoples**



Fuente: elaboración propia.

- Colocar a la manguera una guía para que mantuviera la forma de U.

Figura 41. **Colocación a la manguera de una guía**



Fuente: elaboración propia.

- Se ve finalizada la construcción del tubo de Prandtl.

Figura 42. **Tubo de Prandtl finalizado**



Fuente: elaboración propia.

- Toma de muestras: para la toma de muestras del caudal y presiones del gas de descarga se ha seguido el siguiente procedimiento:

- Colocar el tubo de Prandtl en la chimenea asentándolo en tablas de madera y sujetándolo con alambre.

Figura 43. **Tubo de Prandtl instalado en la chimenea**



Fuente: elaboración propia.

- Ya con la boquilla del tubo de Prandtl dentro de la chimenea se debe medir la diferencia de alturas entre las dos columnas de agua.

Figura 44. **Medida de la diferencia de alturas**



Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la toma de muestras se aprecian en la tabla XX.

Tabla XX. **Resultados del tubo de Prandtl aplicados en la chimenea de 750 BHP**

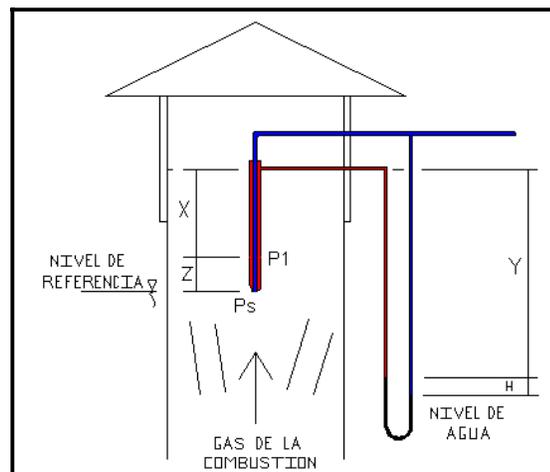
Estado de la caldera	Medida del manómetro en U de h en mm
Apagada	0
Fuego bajo	2
Fuego alto	4

Fuente: elaboración propia.

Tomar la medida de mayor valor, en este caso los 4 mm.

- Cálculo de la velocidad: ahora aplicar el teorema de Bernoulli para determinar la velocidad del flujo de gas.

Figura 45. **Esquema de la instalación del tubo de Prandtl**



Fuente: elaboración propia.

Con el diagrama, los puntos de análisis serían P_s o presión de estancamiento o total y P_1 la presión estática.

$$\frac{P_1}{\gamma_{\text{aire}}} + Z_1 + \frac{(V_1)^2}{2g} - H_L = \frac{P_s}{\gamma_{\text{aire}}} + Z_s + \frac{(V_s)^2}{2g}$$

Donde:

- P_1 = presión estática, en Kpa
- γ_{aire} = peso específico del aire, en KN/m^3
- Z_1 = altura 1, en m
- V_1 = velocidad 1, en m/s
- G = aceleración gravitacional, $9,81 \text{ m/s}^2$
- H_L = Pérdidas por fricción, en m.
- P_s = presión total, en KPa
- Z_s = altura 2, en m
- V_s = velocidad 2, en m/s

En la tabla XXI se observan las simplificaciones realizadas a la ecuación anterior.

Tabla XXI. **Simplificaciones realizadas a la ecuación de Bernoulli**

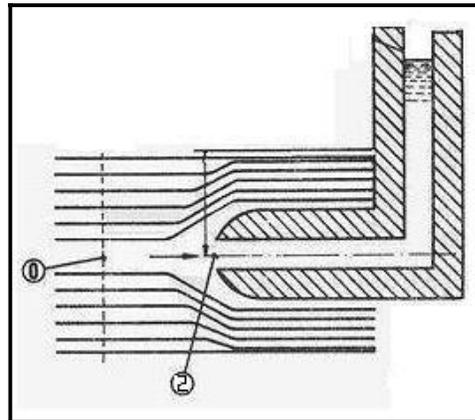
Variable	Observación
H_L	Se asume como cero debido a que no posee muchos accesorios y se desprecia la pérdida por la longitud de la tubería
Z_s	Se tomará como el punto de referencia.

Continuación de la tabla XXI.

V_s	La velocidad 2 es cero debido a que la velocidad al chocar con el tubo de Prandtl crea un espacio sin velocidad, como se observa en la figura 46.
-------	---

Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Vista del funcionamiento del tubo de Prandtl**



Fuente: WIKIPEDIA. http://es.wikipedia.org/wiki/Tubo_Pitot. Consulta: mayo de 2011.

Las simplificaciones realizadas se muestran en la siguiente ecuación:

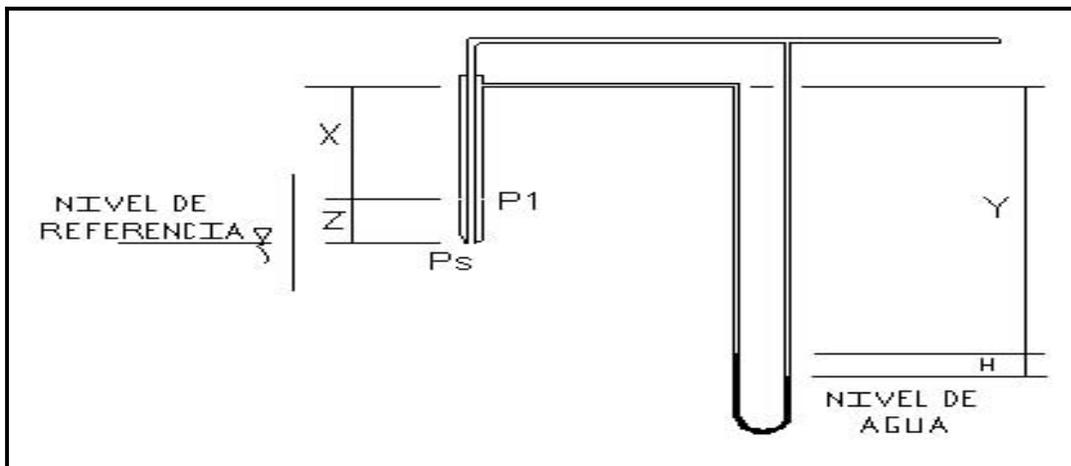
$$\frac{P_1}{\gamma_{\text{aire}}} + Z_1 + \frac{(V_1)^2}{2g} = \frac{P_s}{\gamma_{\text{aire}}}$$

$$\frac{(V_1)^2}{2g} = \frac{P_s}{\gamma_{\text{aire}}} - \frac{P_1}{\gamma_{\text{aire}}} - Z_1$$

$$V_1 = \sqrt{2g \left(\frac{(P_s - P_1)}{\gamma_{\text{aire}}} - Z_1 \right)}$$

Para el valor de $P_s - P_1$ se aplica el siguiente cálculo.

Figura 47. **Aplicación del tubo de Prandtl para encontrar la diferencia de presiones**



Fuente: elaboración propia.

Donde:

$$X = 0,3629 \text{ m}$$

$$Z = 0,1524 \text{ m}$$

$$Y = 1,0151 \text{ m}$$

$$H = 4 \text{ mm o } 0,004 \text{ m}$$

$$P_1 - x\gamma_{\text{aire}} + y\gamma_{\text{aire}} + h\gamma_{\text{h2o}} - h\gamma_{\text{aire}} - y\gamma_{\text{aire}} + x\gamma_{\text{aire}} + z\gamma_{\text{aire}} = P_s$$

Donde:

P_1 = presión estática, en Kpa

γ_{aire} = peso específico del aire, en KN/m^3

γ_{h2o} = peso específico del agua, en KN/m^3

P_s = presión total, en Kpa

Anulando términos semejantes:

$$P_1 + h\gamma_{\text{h2o}} - h\gamma_{\text{aire}} + z\gamma_{\text{aire}} = P_s$$

$$P_s - P_1 = +h\gamma_{\text{h2o}} - h\gamma_{\text{aire}} + z\gamma_{\text{aire}}$$

$$P_s - P_1 = \Delta P = h(\gamma_{\text{h2o}} - \gamma_{\text{aire}}) + z\gamma_{\text{aire}}$$

Sustituyendo en la ecuación del teorema de Bernoulli.

$$V_1 = \sqrt{2g \left(\frac{h(\gamma_{\text{h2o}} - \gamma_{\text{aire}}) + z\gamma_{\text{aire}}}{\gamma_{\text{aire}}} - Z_1 \right)}$$

Para aplicar la ecuación anterior, se hacen las siguientes observaciones: el valor del peso específico del aire o gases de combustión se ha calculado anteriormente y el peso específico del agua se aprecia en el anexo 4.

Valores:

$$\begin{aligned}g &= 9,81 \quad \text{m/s}^2 \\h &= 0,004 \quad \text{m} \\Y_{\text{h}_2\text{O}} &= 9,81 \quad \text{KN/ m}^3 \\Y_{\text{aire}} &= 0,008186 \quad \text{KN/ m}^3 \\Z_1 &= 0,1524 \quad \text{m}\end{aligned}$$

$$V_1 = \sqrt{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \left(\frac{\left(0,004\text{m} * \left(9,81 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} - 0,008186 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \right) + 0,1524\text{m} * 0,008186 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \right)}{0,008186 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}} - 0,1524\text{m} \right)}$$

$$V_1 = 9,69 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Cálculo del caudal: para el cálculo del caudal de los gases de salida de la chimenea se determinó primero el área de la misma.

$$A_1 = \pi * r^2$$

Donde:

A_1 = área de la chimenea, en m^2

r = radio de la chimenea, en m

$$A_1 = \pi * r^2 = \pi * (0,40 \text{ m})^2 = 0,5026 \text{ m}^2$$

Se determina el caudal del gas de descarga.

$$Q = A_1 * V_1$$

Donde:

Q = caudal de gas de descarga, en m³/s

A₁ = área de la chimenea, en m²

V₁ = velocidad del gas de descarga, en m/s

$$Q = A_1 * V_1 = 9,69 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,5026 \text{ m}^2 = 4,87 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El resultado anterior, es para una sola caldera. Para dos y tres caleras se describe a continuación:

- Para dos calderas

$$Q = 4,87 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 2 = 9,74 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

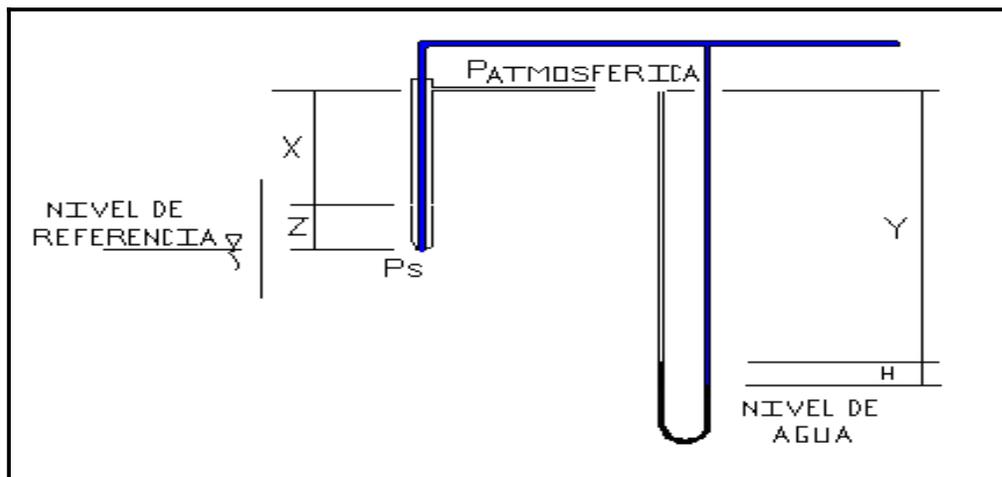
- Para tres calderas

$$Q = 4,87 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 3 = 14,61 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Cálculo de las presiones: las presiones del gas de descarga son las siguientes:

- Presión total: para el cálculo de la presión total se desconectó del tubo de Prandtl la manquera que comunica los orificios que miden la presión estática, según como se observa en la figura 48.

Figura 48. **Aplicación del tubo de Prandtl para determinar la presión total**



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se procedió a ver la diferencia de alturas que presentaba el manómetro en U y se tabulan en la tabla XXII.

Tabla XXII. **Resultados del tubo de Prandtl aplicados para encontrar la presión total**

Estado de la caldera	Medida del manómetro en U, h en mm
Apagada	4
Fuego bajo	6
Fuego alto	8

Fuente: elaboración propia.

Se usará la medida de mayor valor, en este caso los 8 mm, y se procederá a calcular la presión total, según la siguiente ecuación.

$$P_s - \gamma_{\text{aire}} z - \gamma_{\text{aire}} x + \gamma_{\text{aire}} y + \gamma_{\text{aire}} h - \gamma_{\text{h}_2\text{O}} h = P_{\text{atmosferica}} \text{ donde } P_{\text{atmosferica}} = 0$$

$$P_s = +\gamma_{\text{aire}} z + \gamma_{\text{aire}} x - \gamma_{\text{aire}} y - \gamma_{\text{aire}} h + \gamma_{\text{h}_2\text{O}} h$$

$$P_s = \gamma_{\text{aire}} (z + x - y - h) + \gamma_{\text{h}_2\text{O}} h$$

Valores:

γ_{aire}	=	0,008186	KN/ m ³
Z	=	0,1524	m
X	=	0,3629	m
Y	=	1,0131	m
H	=	0,008	m
$\gamma_{\text{h}_2\text{O}}$	=	9,81	KN/ m ³

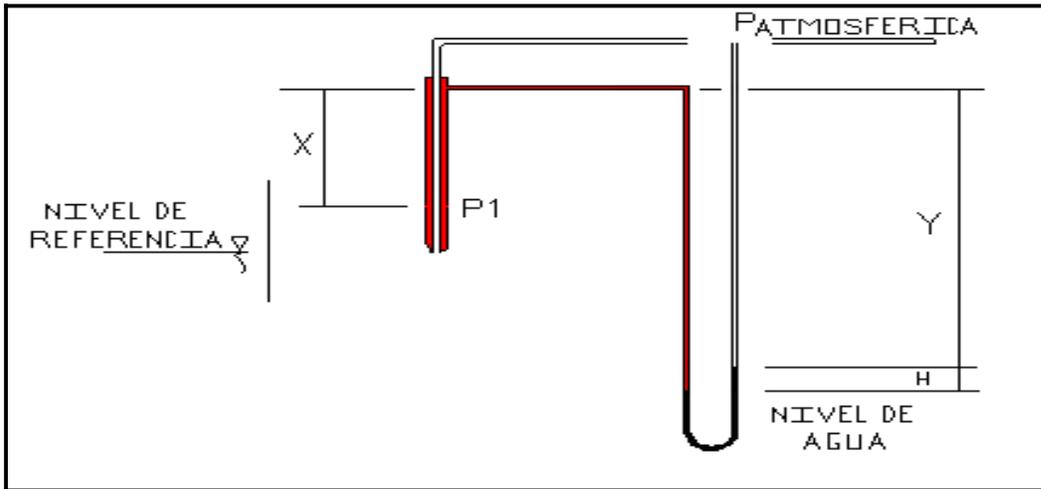
$$P_s = 0,008186 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} * (0,1524 \text{ m} + 0,3629 \text{ m} - 1,0131 \text{ m} - 0,008 \text{ m}) + 0,008 \text{ m} * 9,81 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

$$P_s = 0,0743 \text{ KPa}$$

La presión es 0,0743 KPa.

- Presión estática: para el cálculo de la presión estática se desconectó del tubo de Prandtl la manquera que comunica con los orificios que miden la presión total, según como se observa en la figura 49.

Figura 49. **Aplicación del tubo de Prandtl para determinar la presión estática**



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se procedió a ver la diferencia de alturas que presentaba el manómetro en U y se tabulan en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. **Resultados del tubo de Prandtl aplicados para encontrar la presión estática**

Estado de la caldera	Medida del manómetro en U, h en mm
Apagada	0
Fuego bajo	2
Fuego alto	4

Fuente: elaboración propia.

Se tomará la medida de mayor valor, en este caso los 4 mm, y se procederá a calcular la presión total, según la siguiente ecuación.

$$P_1 - x\gamma_{\text{aire}} + y\gamma_{\text{aire}} + h\gamma_{\text{aire}} - h\gamma_{\text{h2o}} = P_{\text{atmosferica}} \text{ donde } P_{\text{atmosferica}} = 0$$

$$P_1 = x\gamma_{\text{aire}} - y\gamma_{\text{aire}} - h\gamma_{\text{aire}} + h\gamma_{\text{h2o}}$$

$$P_1 = \gamma_{\text{aire}}(x - y - h) + h\gamma_{\text{h2o}}$$

Valores:

γ_{aire}	=	0,008186	KN/ m ³
X	=	0,3629	m
Y	=	1,0151	m
H	=	0,004	m
γ_{h2o}	=	9,81	KN/ m ³

$$P_1 = 0,008186 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} * (0,3629 \text{ m} - 1,0151 \text{ m} - 0,004 \text{ m}) + 0,004 \text{ m} * 9,81 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

$$P_1 = 0,0338 \text{ KPa}$$

La presión total es 0,0338 KPa.

- Presión dinámica: la presión dinámica es la diferencia de las presiones estática y total, según como se observa en la siguiente ecuación.

$$P_s - P_1 = \Delta P = h(\gamma_{\text{h2o}} - \gamma_{\text{aire}}) + z\gamma_{\text{aire}}$$

Valores:

$$\begin{aligned} H &= 0,004 \quad \text{m} \\ Y_{h20} &= 9,81 \quad \text{KN/ m}^3 \\ Y_{\text{aire}} &= 0,008186 \quad \text{KN/ m}^3 \\ Z &= 0,1524 \quad \text{m} \end{aligned}$$

$$P_s - P_1 = \Delta P = 0,004 \text{ m} * \left(9,81 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} - 0,008186 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \right) + 0,1524 \text{ m} * 0,008186 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

$$P_s - P_1 = \Delta P = 0,0405 \text{ KPa}$$

Una forma de corroborar este dato, es restar los valores de presiones total y estática encontrados anteriormente.

$$P_s - P_1 = \Delta P = 0,0743 \text{ KPa} - 0,0338 \text{ KPa} = 0,0405 \text{ KPa}$$

- Análisis de resultados de datos obtenidos del tubo de Prandtl: luego del cálculo de varios factores, se resumen en la tabla XXIV, además se resalta que la presión dinámica se pudo encontrar de dos formas, y luego de la aplicación del teorema de Bernoulli se logró deducir la velocidad de los gases de combustión de la chimenea de la caldera de 750 BHP.

Tabla XXIV. **Resumen de datos obtenidos con el tubo de Prandtl**

Variable	SI
Presión total	0,0743 Kpa
Presión dinámica	0,0405 Kpa
Presión estática	0,0338 Kpa
Velocidad	9,69 m/s
Caudal	4,87 m ³ /s

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.7. Viscosidad estática el aire

Utilizando la tabla del anexo 3, se recopilan los datos necesarios para obtener la viscosidad estática del aire en la tabla XXV.

Tabla XXV. **Valores utilizados para encontrar la viscosidad estática del aire**

Temperatura (°C)	Viscosidad estática x 10⁻⁶ (m²/s)
140	27,55
150	V
160	29,85

Fuente: elaboración propia.

Ahora se procede a interpolar, para localizar el dato requerido.

$$\frac{V - 27,55 \times 10^{-6}}{29,85 \times 10^{-6} - 27,55 \times 10^{-6}} = \frac{150 - 140}{160 - 140}$$

$$V = 28,7 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

2.2.1.8. Viscosidad dinámica del aire

La viscosidad dinámica del aire se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\eta}{\sigma}$$

$$\eta = V\sigma$$

Donde:

V = viscosidad estática, en m^2/s

η = viscosidad dinámica, en $\text{Kg}/(\text{s m})$

σ = densidad, en Kg/m^3

Despejando la viscosidad dinámica e introduciendo datos:

$$\eta = 28,7 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} * 0,8345 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 2,40 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{s m}}$$

2.2.1.9. Densidad del hollín

Para el cálculo de la densidad del hollín se utilizó un recipiente cilíndrico de diámetro interno de 12 cm, altura de 14 cm y un peso de 102,21 g.

Figura 50. Recipiente utilizado para encontrar la densidad del hollín



Fuente: elaboración propia.

Luego se le introdujo hollín, el cual ocupó 10 cm de altura y un peso de 394,31 g.

$$V = h * A = h * \pi * r^2$$

Donde:

V = volumen del cilindro, en cm^3

h = altura del cilindro, en cm

r = radio del cilindro, en cm

$$V = 10 \text{ cm} * \pi * (6 \text{ cm})^2$$

$$V = 1130,97 \text{ cm}^3$$

La masa del hollín se le resta el peso del cilindro el cual es de 102,21 g.

$$\text{Masa} = 394,31 \text{ g} - 102,21 \text{ g} = 292,12 \text{ g}$$

Ahora se procederá a calcular la densidad del hollín.

$$\sigma = \frac{M}{V}$$

Donde:

σ = densidad del hollín, en g/cm^3

M = masa del hollín, en g

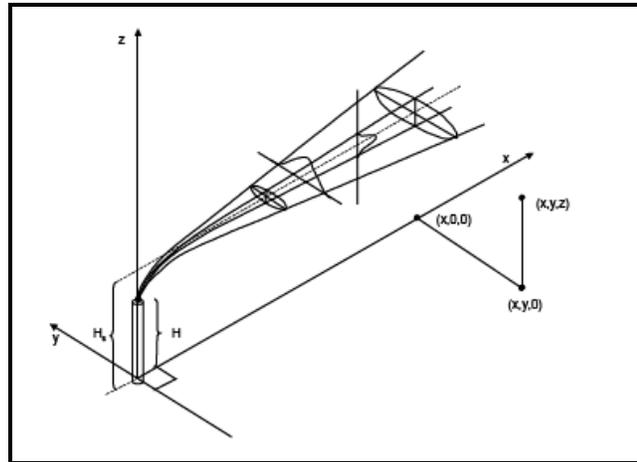
V = volumen del hollín, en cm^3

$$\sigma = \frac{292,12 \text{ g}}{1130,97 \text{ cm}^3} = 0,2583 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \times \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right)^3 = 258,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

2.2.1.10. Concentración de partículas de hollín en los gases de combustión

Para determinar la concentración de partículas en los gases de combustión se aplicará el modelo de dispersión gaussiano, este modelo se ilustra en la gráfica 51.

Figura 51. **Modelo de dispersión gaussiano**



Fuente: MODELIZACIÓN GAUSSIANA ... <http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Atmosfera/DispersionContaminantes.htm>. Consulta: mayo de 2011.

Para calcular la concentración de partículas se aplicarán las siguientes fórmulas:

$$C(x, y, z) = \frac{Q_c}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \left(e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2} \right) \left[\left(e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2} \right) + \left(e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2} \right) \right]$$

Donde:

- C = concentración de contaminante en el punto (x,y,z), en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Q_c = cantidad de contaminante emitido, en g/s
- σ_y = desviación estándar en la direcciones y, en m
- σ_z = desviación estándar en la direcciones z, en m
- u = velocidad del viento en la boca de la chimenea, en m/s
- H = altura efectiva de la chimenea, en m

$$\dot{m} = Q * \sigma$$

Donde:

\dot{m} = flujo másico del gas de descarga, en Kg/s

Q = caudal del gas de descarga, en m³/s

σ = densidad del aire, en Kg/m³

$$Q_h = \dot{m} C_p (T_s - T_a)$$

Donde:

Q_h = tasa de emisión de calor, en KJ/s

\dot{m} = flujo másico del gas de descarga, en Kg/s

C_p = calor específico del gas de descarga, en KJ/(Kg*K)

T_s = temperatura de salida del gas de descarga, en K

T_a = temperatura del aire, en K

$$\Delta h = -0,029 \frac{V_s d}{u} + 2,62 \frac{(Q_h)^{1/2}}{u}$$

Donde:

Δh = elevación de la pluma, en m

V_s = velocidad del gas de descarga, en m/s

d = diámetro de salida de la chimenea, en m

u = velocidad del viento en la boca de la chimenea, en m/s

Q_h = tasa de emisión de calor, en KJ/s

$$H = H_g + \Delta h$$

Donde:

- H = altura efectiva de la chimenea, en m
- H_g = altura de construcción de la chimenea, en m
- Δh = elevación de la pluma, en m

$$U = u \left(\frac{z}{10} \right)^p$$

Donde:

- U = velocidad del viento en la boca de la chimenea, en m/s
- u = velocidad del viento a 10 metros de altura, en m/s
- z = altura de la chimenea desde el nivel del suelo, en m
- p = coeficiente exponencial, se toma de la tabla XXVII

$$\sigma_y = ax^b$$

Donde:

- σ_y = desviación estándar en la direcciones y, en m
- a = variable, se toma de la tabla XXVIII
- x = distancia en el eje x a la chimenea, en Km
- b = constante, 0,894 adimensional

$$\sigma_z = cx^d + f$$

Donde:

- σ_z = desviación estándar en la direcciones z, en m
 c = variable, se toma de la tabla XXVIII
 x = distancia en el eje x a la chimenea, en Km
 d = variable, se toma de la tabla XXVIII
 f = variable, se toma de la tabla XXVIII

Para calcular la concentración de partículas se utilizarán las tablas XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX y XXX

Tabla XXVI. **Categorías de estabilidad atmosférica**

Velocidad de viento de superficie (a 10 m) (m/s)	Día			Noche	
	Radiación solar incidente			Ligeramente nublado o pequeña cubierta de nubes $\geq 4/8$	Cubierta de nubes de $\leq 3/8$
	Fuerte (mayor que 50 cal/(cm ² h))	Moderado (entre 25 y 50 cal/(cm ² h))	Leve (menor que 25 cal/(cm ² h))		
< 2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Fuente: Modelización gaussiana ... <http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Atmosfera/DispersionContaminantes.htm>. Consulta: mayo de 2011.

Tabla XXVII. **Coeficiente exponencial para el cálculo de U**

Estabilidad Atmosférica		Urbano	Rural
A	Extremadamente inestable	0,15	0,07
B	Moderadamente inestable	0,15	0,07
C	Ligeramente inestable	0,20	0,10
D	Neutra	0,25	0,15
E	Ligeramente estable	0,40	0,35
F	Moderadamente estable	0,60	0,55

Fuente: Modelización gaussiana ... <http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Atmosfera/DispersionContaminantes.htm>. Consulta: mayo de 2011.

Tabla XXVIII. **Constantes para el cálculo de las σ_y y σ_z**

Estabilidad Atmosférica	a	X < 1 km			X > 1 km			
		C	d	f	c	d	f	
A	Extremadamente inestable	213	440,80	1941	9,27	459,7	2094	-9,6
B	Moderadamente inestable	156	106,60	1149	3,3	108,2	1098	2,0
C	Ligeramente inestable	104	61,00	0,911	0	61,0	0,911	0
D	Neutra	68	33,20	0,725	-1,7	44,5	0,516	-13,0
E	Ligeramente estable	50,5	22,80	0,678	-1,3	55,4	0,305	-34,0
F	Moderadamente estable	34	14,35	0,740	-0,35	62,6	0,180	-48,6

Fuente: Modelización gaussiana ... <http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Atmosfera/DispersionContaminantes.htm>. Consulta: mayo de 2011.

Tabla XXIX. **Coordenadas geográficas del municipio de San Miguel Petapa**

Coordenadas Geográficas	Latitud norte	14° 29' 01"
	Longitud oeste	90° 34' 18"

Fuente: PAZ BAUTISTA, José Eduardo. Efecto de la Gallinaza..., p. 16.

Tabla XXX. **Parámetros climáticos del municipio de San Miguel Petapa**

Parámetros Climáticos	Temperatura media	18,75 °C
	Velocidad del viento	11,59 Km/h

Fuente: PAZ BAUTISTA, José Eduardo. Efecto de la Gallinaza..., p. 16.

En la tabla XXXI se muestra el valor de la radiación solar incidente en el municipio de San Miguel Petapa en base a las coordenadas de la tabla XXIX.

Tabla XXXI. **Radiación solar incidente del municipio de San Miguel Petapa**

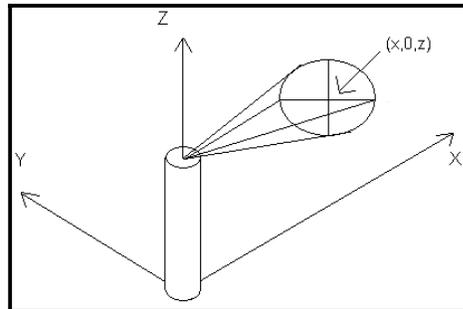
Radiación Solar Incidente	Anual	5,31	kWh/(m ² d)
----------------------------------	--------------	------	------------------------

Fuente: NASA SURFACE...<http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets@nrcan.gc.ca&step=1&lat=14.48361&lon=-90.57166&submit=Submit>. Consulta: mayo de 2011.

Para el cálculo de la concentración de hollín en los gases de combustión se requiere el siguiente procedimiento:

- Determinar el punto a analizar: para conocer las variables x , y , z , se utilizará la gráfica de la figura 52.

Figura 52. **Puntos a analizar la concentración de partículas de hollín**

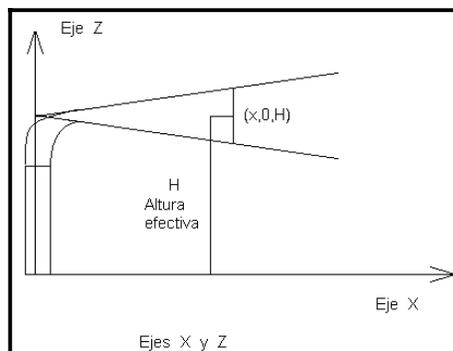


Fuente: elaboración propia.

Los valores serán los siguientes:

- El valor de x será el más próximo a la chimenea, en este caso se aplicará el valor igual a su diámetro el cual es 0,86 m.

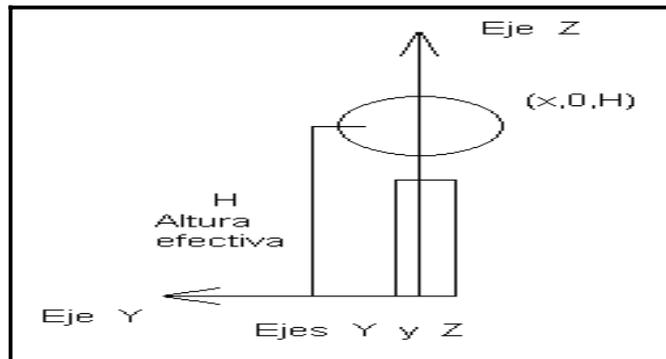
Figura 53. **Vista de los ejes X y Z del punto de concentración de hollín**



Fuente: elaboración propia.

- El valor de Z toma el valor de la altura efectiva de la chimenea, porque, ahí esta la mayor concentración de hollín según figura 54.

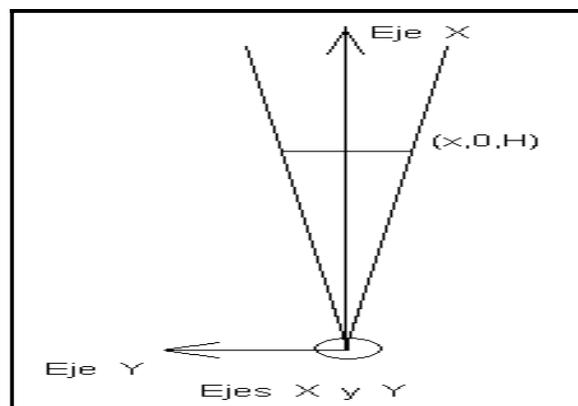
Figura 54. **Vista de los ejes Y y Z del punto de concentración de hollín**



Fuente: elaboración propia.

- El valor de Y es 0, esto es debido a que como se observa en la figura 55, se requiere conocer la mayor concentración de hollín y ésta se encuentra en medio de la dispersión de los gases contaminantes.

Figura 55. **Vista de los ejes X y Y del punto de concentración de hollín**



Fuente: elaboración propia.

- Estimar la velocidad del aire del lugar a determinar la concentración de hollín: según datos de la tabla XXX, el valor de la velocidad el aire en el municipio de San Miguel Petapa es 11,59 Km/h, pero es necesario expresar este valor en m/s.

$$11,59 \frac{Km}{h} * \frac{1000 m}{1 Km} * \frac{1 h}{3600 s} = 3,22 \frac{m}{s}$$

- Cálculo de la radiación solar del lugar a determinar la concentración de hollín: según datos de la tabla XXXI el valor de la radiación solar en el municipio de San Miguel Petapa es 5,31 kWh/(m² d), pero es necesario expresar este valor en cal/(cm² h).

$$5,31 \frac{kWh}{m^2 d} * \frac{860\,400 cal}{1 kWh} * \frac{1 m^2}{10000 cm^2} * \frac{1 d}{24 h} = 19,04 \frac{cal}{cm^2 h}$$

- Estimar la estabilidad atmosférica lugar a determinar la concentración de hollín: los valores de la velocidad del viento y radiación solar del municipio de San Miguel Petapa, sirven para conocer la estabilidad atmosférica por medio de la tabla XXVI.

Luego de analizar los valores de velocidad del viento, radiación solar se determina que la estabilidad atmosférica es C.

- Cálculo de la velocidad del viento en la boca de la chimenea: para realizar tal acción se utilizarán los siguientes valores:
 - Velocidad del viento a 10 m de altura, 3,22 m/s.
 - Altura de la chimenea desde el nivel del suelo, 9,8 m.

- Coeficiente exponencial, es 0,20 esto según la tabla XXVII evaluando para la condición C de estabilidad atmosférica la cual es ligeramente inestable y la localización es urbana.

$$U = 3,22 \frac{m}{s} \left(\frac{9,8 m}{10 m} \right)^{0,2} = 3,21 \frac{m}{s}$$

- Cálculo de σ_y : para realizar este cálculo se aplicarán los siguientes valores:
 - Utilizando la tabla XXVIII para encontrar el valor de a con la condición de C de estabilidad atmosférica, el cual es de 104.
 - El valor de b es constante.

$$\sigma_y = 104(0,00086 Km)^{0,894} = 0,189 m$$

- Cálculo de σ_z : para realizar este cálculo se aplicarán los siguientes valores:
 - Utilizando la tabla XXVIII para encontrar el valor de c con la condición de C de estabilidad atmosférica y el valor x menor a un kilometro, el cual es 61.
 - Utilizando la tabla XXVIII para encontrar el valor de d con la condición de C de estabilidad atmosférica y el valor x menor a un kilometro, el cual es 0,911.
 - Utilizando la tabla XXVIII para encontrar el valor de f con la condición de C de estabilidad atmosférica y el valor x menor a un kilometro, el cual es 0.

$$\sigma_z = 61(0,00086 \text{ Km})^{0,911} + 0 = 0,098 \text{ m}$$

- Cálculo de flujo másico de gas de descarga: aplicarán los siguientes valores para determinar el flujo másico del gas de descarga.

- Según tabla XXIV el caudal de gas de descarga es 4,87 m³/s
- La densidad del gas de descarga es 0,8345 Kg/m³

$$\dot{m} = 4,87 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 0,8345 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 4,06 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

- Cálculo de la tasa de emisión de calor: aplicar los siguientes valores para determinar la tasa de emisión de calor:

- El flujo másico es 4,06 Kg/s.
- El calor específico se calcula de la misma forma como se realizó en el cálculo de la densidad de los gases de combustión continuado con el uso del anexo 3, dando como resultado el valor de 1,015 KJ/(Kg*K).
- La temperatura de la chimenea es 150 °C o bien 423,15 °K.
- La temperatura ambiente es 18,75 °C o bien 291,9 °K.

$$Q_h = 4,06 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 1,015 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{K}} (423,15 \text{ } ^\circ\text{K} - 291,9 \text{ } ^\circ\text{K}) = 541,40 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

- Cálculo de la elevación de la pluma: aplicar los siguientes valores para determinar la elevación de la pluma:

- La velocidad del gas de descarga según tabla XXIV es 9,69 m/s
- El diámetro de la chimenea de 750 BHP es de 0,86 m
- La velocidad del viento en la boca de la chimenea es 3,21 m/s

- La tasa de emisión de calor es 541,40 KJ/s

$$\Delta h = -0,029 \frac{9,69 \frac{m}{s} * 0,86m}{3,21 \frac{m}{s}} + 2,62 \frac{\left(541,40 \frac{KJ}{s}\right)^{1/2}}{3,21 \frac{m}{s}} = 18,93 m$$

- Cálculo de la altura efectiva de la chimenea: utilizar los siguientes valores:
 - La altura de construcción de la chimenea de la caldera de 750 BHP es de 9,80 m.
 - La elevación de la pluma es 18,93 m.

$$H = 9,80 m + 18,93 m = 28,73 m$$

Como se mencionó anteriormente, el valor de Z del punto a determinar su concentración de partículas de hollín, toma en este estudio el valor de la altura efectiva.

- Cálculo de la cantidad de contaminante emitido: del consumo de combustible, un 10% se convierte en hollín como máximo, entonces la caldera de 750 BHP tiene un consumo de 209 GPM o bien 0,00021982 m³/s. La densidad del búnker es 1012 kg/m³.

$$0,00021982 \frac{m^3}{s} * 1012 \frac{Kg}{m^3} * 10\% = 0,022 \frac{Kg}{s} \text{ de hollín}$$

- Cálculo de la concentración de partículas

$$C((0,86), (0), (28,73)) = \frac{0,022 \frac{Kg}{s}}{2\pi * 0,189 m * 0,098 m * 3,21 \frac{m}{s}} \left(e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{0 m}{0,189 m} \right)^2} \right) \left[\left(e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{28,73 - 28,73}{0,098 m} \right)^2} \right) + \left(e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{28,73 + 28,73}{0,098 m} \right)^2} \right) \right]$$

$$C((0,86), (0), (28,73)) = 0,059 \frac{\mu g}{m^3} * \frac{1 g}{1\ 000\ 000 \mu g} * \frac{1 m^3}{1\ 000\ 000 cm^3} = 5,9 * 10^{-14} \frac{g}{cm^3}$$

2.2.1.11. Resumen de datos para el diseño del ciclón

En la tabla XXXII se resumen los datos para el diseño del ciclón.

Tabla XXXII. Resumen de datos necesarios para el diseño del ciclón

Dato		Cantidad	
Aire	Caudal	de una caldera	4,87 m ³ /s
		de dos calderas	9,74 m ³ /s
		de tres calderas	14,61 m ³ /s
	Presión total		0,0743 Kpa
	Densidad		0,8345 Kg/m ³
	Viscosidad dinámica		2,4*10 ⁻⁵ Kg/(s m)
	Temperatura		150 °C
Concentración de partículas de hollín		5,9*10 ⁻¹⁴ g/cm ³	
Hollín	Densidad	258,3 Kg/m ³	

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Cálculos del dimensionamiento del ciclón

Los ciclones son dispositivos de captación de material suspendido en el aire el cual utiliza la fuerza gravitacional por la fuerza centrífuga, dando como resultado una separación de partículas más rápida y con mayor eficiencia, y su diseño se basa normalmente, en familias de ciclones que tienen proporciones bien definidas.

Los márgenes de la eficiencia de remoción para los ciclones, están con frecuencia basados en las tres familias de ciclones, es decir, convencional, alta eficiencia y alta capacidad. La tabla XXXIII presenta el intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones.

Tabla XXXIII. Intervalo de eficiencia de diferentes familias de ciclones

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencionales	70-90	30-90	0-40
Alta eficiencia	80-99	60-95	20-70
Alta capacidad	80-99	10-40	0-10

Fuente: ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos Alberto. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/ciclones.pdf>. Consulta: junio de 2011.

En la tabla XXXIV se detallan algunos parámetros que diseño de ciclones de entrada tangencial.

Tabla XXXIV. **Parámetros de diseño para los ciclones de entrada tangencial**

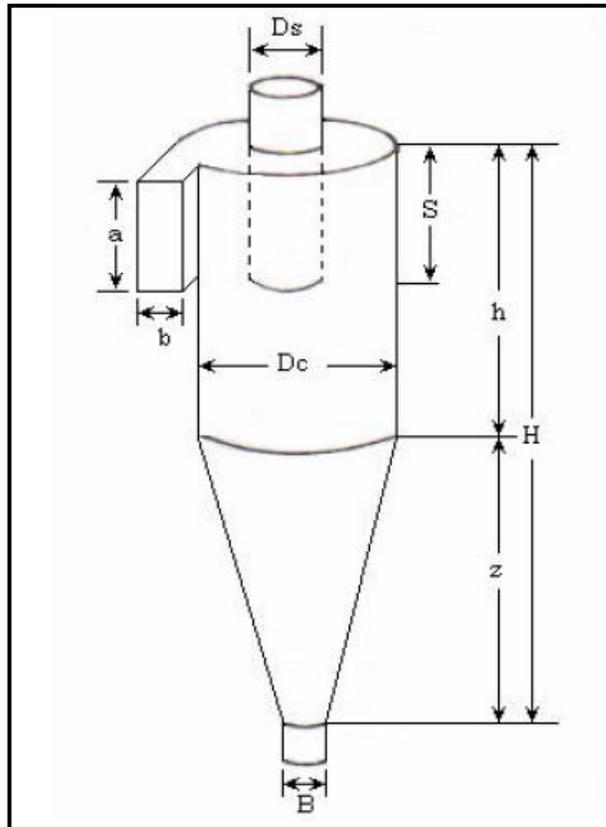
Parámetro	Valor
Diámetro del ciclón (Dc)	< 1,0 m
Caída de presión (ΔP)	< 2 488,16 Pa
Relación de velocidades (V_i / V_s)	< 1,35
Velocidad de entrada (V_i)	15,2 - 27,4 m/s

Fuente: ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos Alberto. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/ciclones.pdf>. Consulta: junio de 2011.

Las tres familias de ciclones tienen proporciones designadas para obtener el máximo funcionamiento, esto debido a la diferencia entre ellas, es decir que cada una cumple una necesidad determinada como puede ser aumentando su eficiencia o bien su capacidad de captación.

En la figura 56 se observa a un ciclón con sus diferentes medidas propuestas, y en las tablas XXXV, XXXVI y XXXVII se pueden apreciar las dimensiones de las familias de ciclones, es notable resaltar que primero se calcula el diámetro Dc, y con base en éste se encuentran las demás medidas.

Figura 56. **Vista de un ciclón**



Fuente: ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos Alberto. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/ciclones.pdf>. Consulta: junio de 2011.

Tabla XXXV. **Características de los ciclones convencionales**

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón			
		Lapple	Swift	Peterson-Whitby	Zenz
Diámetro del ciclón	D_c/D_c	1,000	1,000	1,000	1,000
Altura de entrada	a/D_c	0,500	0,500	0,583	0,500

Continuación de la tabla XXXV.

Ancho de entrada	b/Dc	0,250	0,250	0,208	0,250
Altura de salida	S/Dc	0,625	0,600	0,583	0,750
Diámetro de salida	Ds/Dc	0,500	0,500	0,500	0,500
Altura parte cilíndrica	h/Dc	2,000	1,750	1,333	2,000
Altura parte cónica	z/Dc	2,000	2,000	1,837	2,000
Altura total del ciclón	H/Dc	4,000	3,750	3,170	4,000
Diámetro salida partículas	B /Dc	0,250	0,400	0,500	0,250
Factor de configuración	G	402,880	381,790	342,290	425,410
Número cabezas de velocidad	NH	8,000	8,000	7,760	8,000
Número de vórtices	N	6,000	5,500	3,900	6,000
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1,000	1,000	1,000	1,000

Fuente: ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos Alberto. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/ciclones.pdf>. Consulta: junio de 2011.

Tabla XXXVI. **Características de los ciclones de alta eficiencia**

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1,000	1,000	1,000
Altura de entrada	a/Dc	0,500	0,440	0,500

Continuación de la tabla XXXVI.

Ancho de entrada	b/Dc	0,200	0,210	0,200
Altura de salida	S/Dc	0,500	0,500	0,625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0,500	0,400	0,500
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1,500	1,400	1,500
Altura parte cónica	z/Dc	2,500	2,500	2,500
Altura total del ciclón	H/Dc	4,000	3,900	0,400
Diámetro salida partículas	B /Dc	0,375	0,400	0,375
Factor de configuración	G	551,220	698,650	585,710
Número cabezas de velocidad	NH	6,400	9,240	6,400
Número de vórtices	N	5,500	6,000	5,500
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1,000	1,000	1,000

Fuente: ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos Alberto. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/ciclones.pdf>. Consulta: junio de 2011.

Tabla XXXVII. **Características de los ciclones de alta capacidad**

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón	
		Stairmand	Swift
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1,000	1,000
Altura de entrada	a/Dc	0,750	0,800
Ancho de entrada	b/Dc	0,375	0,250
Altura de salida	S/Dc	0,875	85,000

Continuación de la tabla XXXVII.

Diámetro de salida	Ds/Dc	0,750	0,750
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1,500	1,700
Altura parte cónica	z/Dc	2,500	2,000
Altura total del ciclón	H/Dc	4,000	3,700
Diámetro salida partículas	B /Dc	0,375	0,400
Factor de configuración	G	29,790	30,480
Número cabezas de velocidad	NH	8,000	7,960
Número de vórtices	N	3,700	3,400
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1,000	1,000

Fuente: ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos Alberto. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/ciclones.pdf>. Consulta: junio de 2011.

2.2.2.1. Procedimiento para diseñar un ciclón

El procedimiento para diseñar un ciclón es el siguiente:

- Seleccionar el tipo de ciclón, dependiendo del funcionamiento o necesidades requeridas.
- Obtener un estimativo de la distribución de tamaño de las partículas en la corriente gaseosa a ser tratada.
- Calcular el diámetro del ciclón para una velocidad de entrada que este dentro del intervalo de 15,2 m/s a 27,4 m/s y determinar las otras dimensiones del ciclón con las relaciones establecidas para las familias de ciclones con base en el diámetro.
- Estimar el número de ciclones necesarios para trabajar en paralelo.

- Calcular la eficiencia del ciclón y si se requiere, seleccionar otro tipo de ciclón.
- Calcular la caída de presión del ciclón y si se requiere, seleccionar otro tipo de ciclón.
- Calcular el costo del sistema y optimizar para hacer el mejor uso de la caída de presión disponible, o si se requiere, para dar el más bajo costo de operación.

Iniciar dimensionado un ciclón para trabajar con tres calderas simultáneamente, posteriormente, se diseñará un ciclón para dos y una caldera, siguiendo el procedimiento antes visto.

2.2.2.2. Diseño de un ciclón para tres calderas

A continuación se describen los cálculos de diseño de un ciclón para tres calderas.

- Seleccionar el tipo de ciclón: por la bibliografía consultada se elige un ciclón de alta captación debido a:
 - El ciclón de la familia de alta captación funciona adecuadamente a partir de 20 μm en adelante y como se observa en la tabla XVII, el rango de 74 μm a 0 μm , el cual lo contiene tiene un porcentaje de peso retenido de 24,992%.
 - Lo anterior implica que el resto de rangos que no contiene valores de 0 μm a 20 μm suma 75,008%, que en comparación con el valor de 24,992%, es mucho mayor. Esto da como consecuencia descartar el uso del ciclón de alta eficiencia.

- Se descarta también, el ciclón convencional, porque posee menor capacidad de captación de partículas.
- Al escoger el ciclón de alta captación trae el beneficio de reducir el tiempo de limpieza que éste conlleva al estar sustrayéndole el hollín, también se selecciona un ciclón tipo Stairmand.
- Estimación de la distribución de tamaño de las partículas en la corriente gaseosa: se observa en la figura 32 que un extremo del rango de 210 micras a tamaños más grandes, no está bien definido, por lo tanto se anulará y solo se tomarán en cuenta los porcentajes de peso retenido de las demás clases.

El resultado de tal acción se observa en la tabla XXXVIII, donde se utilizó el siguiente procedimiento:

- Primero: se observa en la columna de porcentaje de peso retenido original que el rango de 210 μm a tamaños mayores tiene un valor de 12,80%
- Segundo: en la columna de porcentaje de peso retenido modificado se ve que la sumatoria de los demás rangos sin incluir a los valores de 210 μm a tamaños mayores es de 87,20%
- Tercero: se calcula para cada rango su nuevo porcentaje de representación en el valor de 87,20% de la siguiente manera:
 - Tomando como el 100% al valor de 87,20%

- Para el rango de 210 μm a 177 μm :

$$100\% - 87,20\%$$

$$X1 - 20,02\%$$

$$X1 \quad 22,96\%$$

Donde X1 es el nuevo valor de porcentaje de peso retenido para el rango de 210 μm a 177 μm .

- Para el rango de 177 μm a 149 μm :

$$100\% - 87,20\%$$

$$X2 - 0,59\%$$

$$X2 \quad 0,68\%$$

Donde X2 es el nuevo valor de porcentaje de peso retenido para el rango de 177 μm a 149 μm .

- Se calcula, de igual manera, para el resto de rangos

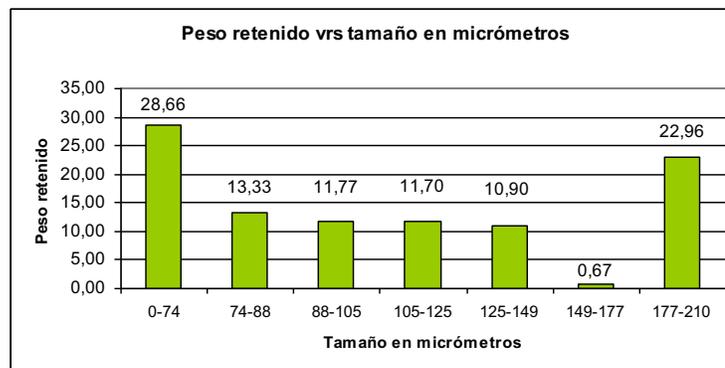
Tabla XXXVIII. **Nuevo porcentaje de los rangos de muestra de hollín**

Rango, en µm.	Porcentaje de Peso retenido original (%)	Porcentaje de Peso retenido modificado (%)	Nuevo porcentaje de peso retenido (%)	Nuevo porcentaje de peso acumulado (%)
Mayor a 210 - 210	12,80			
210 - 177	20,02	20.02	22.96	22.96
177 - 149	0,59	0.59	0.68	23.64
149 - 125	9,51	9.51	10.91	34.54
125 - 105	10,20	10.20	11.70	46.24
105 - 88	10,27	10.27	11.78	58.02
88 - 74	11,62	11.62	13.33	71.34
74 - 0	24,99	24.99	28.66	100.00
Total	100	87.2	100.00	

Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 57 se observa la nueva distribución del porcentaje de peso retenido de los diferentes rangos.

Figura 57. **Nueva distribución de peso retenido**



Fuente: elaboración propia.

La interpretación de la figura 57, se detalla a continuación:

- Existen 7 rangos.
 - El rango que contiene la mayor cantidad porcentaje de peso retenido es de 0 μm a 74 μm , con un 28,66%.
 - El rango de 177 μm a 210 μm , presenta un 22,96% de peso retenido, siendo el segundo porcentaje más alto.
 - El rango de 149 μm a 177 μm , no contiene gran cantidad de porcentaje de peso retenido.
 - El resto de rangos oscilan su valor de porcentaje de peso retenido entre un 10,90% a 13,33%.
 - Estos resultados sirven para conocer el tiempo de relajación por partícula y la eficiencia fraccional por intervalos de tamaño.
-
- Calcular el diámetro del ciclón: para calcular el diámetro del ciclón se selecciona una velocidad de entrada que esté dentro del intervalo de 15,2 m/s a 27,4 m/s, para este caso se selecciona una velocidad de entrada de 15,2 m/s. Con este valor se puede determinar el diámetro del ciclón y las otras dimensiones con base en las relaciones establecidas para las familias de ciclones.

Con lo anterior expuesto, se procederá a calcular un ciclón utilizando las siguientes ecuaciones.

$$\dot{A} = \frac{Q}{V_i}$$

Donde:

Á = área del ducto de entrada del ciclón, en m²

Q = caudal, en m³/s

V_i = velocidad de entrada del gas en el ciclón, en m/s

$$\text{Área} = \frac{14,61 \text{ m}^3/\text{s}}{15,2 \text{ m}/\text{s}} = 0,9611 \text{ m}^2$$

El área de entrada también se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\text{Á} = a \times b$$

Donde:

Á = área del ducto de entrada del ciclón, en m²

a = alto de la entrada del ciclón, en m

b = ancho de la entrada del ciclón, en m

Para un ciclón tipo Stairmand

Altura de entrada al ciclón (a): a=0,75 D_c

Ancho de entrada al ciclón (b): b=0,375 D_c

$$a \times b = 0,75 D_c \times 0,375 D_c = 0,9611 \text{ m}^2$$

$$D_c = \sqrt{\frac{0,9611 \text{ m}^2}{0,75 \times 0,375}} = 1,84 \text{ m}$$

Las otras dimensiones se hallan con base en las proporciones propuestas de la tabla XXXVII y se resumen en la tabla XXXIX.

Tabla XXXIX. **Dimensiones del ciclón diseñado para tres calderas**

Altura de entrada	a	=	0,75	Dc				
	a	=	0,75	X	1,84 m	=	1,39	m
Ancho de entrada	b	=	0,375	Dc				
	b	=	0,375	X	1,84 m	=	0,69	m
Altura de salida	S	=	0,875	Dc				
	S	=	0,875	X	1,84 m	=	1,62	m
Diámetro de salida	Ds	=	0,75	Dc				
	Ds	=	0,75	X	1,84 m	=	1,39	m
Altura parte cilíndrica	h	=	1,5	Dc				
	h	=	1,5	X	1,84 m	=	2,77	m
Altura parte cónica	z	=	2,5	Dc				
	z	=	2,5	x	1,84 m	=	4,62	m
Altura total del ciclón	H	=	4	Dc				
	H	=	4	x	1,84 m	=	7,39	m
Diámetro salida partículas	B	=	0,375	Dc				
	B	=	0,375	x	1,84 m	=	0,69	m

Fuente: elaboración propia.

- Estimar el número de ciclones: según bibliografía consultada, existe una recomendación la cual indica que si Dc es mayor a 1 metro, se utilice un mult ciclón, pero en este caso particular, se establece que se diseñará un solo ciclón.

- Calcular la eficiencia del ciclón: antes de proceder a calcular la eficiencia del ciclón se procederá a verificar si existe resuspensión de partículas, encontrando las siguientes variables:
 - Velocidad equivalente: para calcular la velocidad equivalente se utilizará la siguiente ecuación:

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 * g * \mu * (\rho_p - \rho)}{3 * (\rho)^2}}$$

Donde:

W = velocidad equivalente, en m/s

g = aceleración gravitacional, en m/s²

μ = Viscosidad del gas portador, en Kg/(m s)

ρ_p = densidad de la partícula, en Kg/m³

ρ = densidad del gas portador, en Kg/m³

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 * 9,81 \frac{m}{s^2} * 2,40 \times 10^{-5} \frac{Kg}{s \cdot m} * \left(258,3 \frac{Kg}{m^3} - 0,8345 \frac{Kg}{m^3}\right)}{3 * \left(0,8345 \frac{Kg}{m^3}\right)^2}} = 0,4872 \frac{m}{s}$$

La velocidad equivalente de las partículas de hollín es de 0,4872 metros por segundo.

- o Velocidad de saltación: la velocidad de saltación sirve para indicar por qué la eficiencia de colección algunas veces descendía con incrementos en la velocidad de entrada, es por eso que, lo ideal es trabajar con velocidades de entrada lo suficientemente altas para aprovechar el efecto de la aceleración centrífuga, sin sobrepasar la velocidad que implica resuspensión del material ya colectado.

Para calcular la velocidad de saltación se utilizará la siguiente ecuación:

$$V_s = \frac{4,913 * W * K_b^{0,4} * Dc^{0,067} * \sqrt[3]{(V_i)^2}}{\sqrt[3]{1 - K_b}}$$

Donde:

- V_s = velocidad de saltación, en m/s
- W = velocidad equivalente, en m/s
- V_i = velocidad de entrada del gas en el ciclón, en m/s
- K_b = relación de ancho de entrada del ciclón, adimensional
- Dc = diámetro del ciclón, en m

$$V_s = \frac{4,913 * 0,4872 \frac{m}{s} * 0,375^{0,4} * (1,84 \text{ m})^{0,067} * \sqrt[3]{(15,2 \text{ m})^2}}{\sqrt[3]{1 - 0,375}} = 12,09 \frac{m}{s}$$

La velocidad de saltación de las partículas de hollín es de 12,09 metros por segundo.

- Relación entre velocidades: para calcular la relación entre velocidades se utilizará el siguiente criterio:

$$\frac{V_i}{V_s} < 1,35$$

Donde:

V_i = velocidad de entrada del gas en el ciclón, en m/s

V_s = velocidad de saltación, en m/s

1,35 = Constante

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{15,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{12,09 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,25$$

Como $1,25 < 1,35$, no hay resuspensión de material particulado. Después de comprobar que no existe una resuspensión de partículas se proseguirá a calcular la eficiencia del ciclón.

Exponente del vórtice: éste resulta de relacionar la velocidad tangencial y el radio de giro de un movimiento en forma de vórtice. Los análisis teóricos revelan que debe ser igual a 1,0 en ausencia de fricción de pared (vórtice libre). No obstante, las mediciones reales señalan que puede variar de 0,5 a 0,7 de acuerdo con el tamaño del ciclón y la temperatura. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\eta = 1 - \left(1 - 0,67(Dc)^{0,14}\right) \left[\frac{T}{283}\right]^{0,3}$$

Donde:

n = exponente del vórtice, adimensional

Dc = diámetro del ciclón, en m

T = temperatura del gas, en K

$$\eta = 1 - \left(1 - 0,67(1,84 \text{ m})^{0,14}\right) \left[\frac{150 + 273}{283}\right]^{0,3} = 0,6456$$

El valor 0,6456 se encuentra dentro del rango 0,5 a 0,7 dando por significado que la fricción está dentro de los límites normales.

- Tiempo de relajación por partícula: éste es el tiempo necesario para que una partícula alcance la velocidad terminal de caída, utilizando la siguiente ecuación:

$$T_i = \frac{\rho_p \times D_{pi}^2}{18\mu}$$

Donde:

T_i = Tiempo de relajación, en s

ρ_p = densidad de la partícula, en Kg/m³

D_{Pi} = diámetro de la partícula, en m

M = viscosidad del gas portador, en Kg/(m s)

Para una partícula con D_{pi} = 37 μm (3,70x10⁻⁵ m), el valor del tiempo de relajación es:

$$T_i = \frac{258,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (3,70 \times 10^{-5} \text{m})^2}{18 \left(2,40 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \right)} = 8,20 \times 10^{-4} \text{ s}$$

El valor anterior indica que una partícula de 37 μm ($3,70 \times 10^{-5} \text{ m}$), requiere de $8,20 \times 10^{-4}$ segundos para caer en el ciclón, cuando ya se encuentra dentro de éste.

- Eficiencia fraccional por intervalos de tamaño: el cálculo se basa en las propiedades físicas del material particulado, gas de arrastre y las medidas físicas del ciclón, utilizando la siguiente ecuación:

$$\eta_i = 1 - e^{-2 \left(\frac{G \cdot T_i \cdot Q (\eta_i + 1)}{D_c^3} \right)^{\frac{0,5}{(\eta_i + 1)}}}$$

Donde:

- η_i = eficiencia fraccional por intervalos de tamaño
- G = factor de configuración del ciclón, adimensional
- T_i = Tiempo de relajación, en s
- Q = Caudal de gas, en m^3/s
- ρ_p = densidad de la partícula, en Kg/m^3
- D_c = diámetro del ciclón, en m
- N = exponente del vórtice, adimensional

$$\eta_i = 1 - e^{-2 \left[\frac{29,79 \cdot 8,20 \times 10^{-4} \text{ s} \cdot 14,61 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (0,6456 + 1)}{(1,19 \text{ m})^3} \right]^{\frac{0,5}{(0,6456 + 1)}}} = 0,6326$$

El valor 0,6326 indica la eficiencia de captación del ciclón para las partículas que están dentro del rango de 0 μm a 74 μm , para los demás tamaños de partículas se reportan en la tabla XL su eficiencia fraccional, además la eficiencia total del ciclón la cual es de 80,11%.

Tabla XL. **Eficiencias por intervalos de tamaño de partículas de hollín**

Tamaño		Mi	Dp	Dp	Ti	Ni	ni * mi
(μm)			(μm)	(m)	(s)		%
0	74	28,65	37	3,70E-05	8,20E-07	0,6326	18,12
74	88	13,32	81	8,10E-05	3,93E-06	0,7960	10,6
88	105	11,77	96,5	9,65E-05	5,58E-06	0,8284	9,75
105	125	11,7	115	1,15E-04	7,92E-06	0,8584	10,04
125	149	10,9	137	1,37E-04	1,12E-05	0,8855	9,65
149	177	0,67	163	1,63E-04	1,59E-05	0,9094	0,61
177	210	22,96	193,5	1,94E-04	2,24E-05	0,9298	21,34
Eficiencia total							80,11

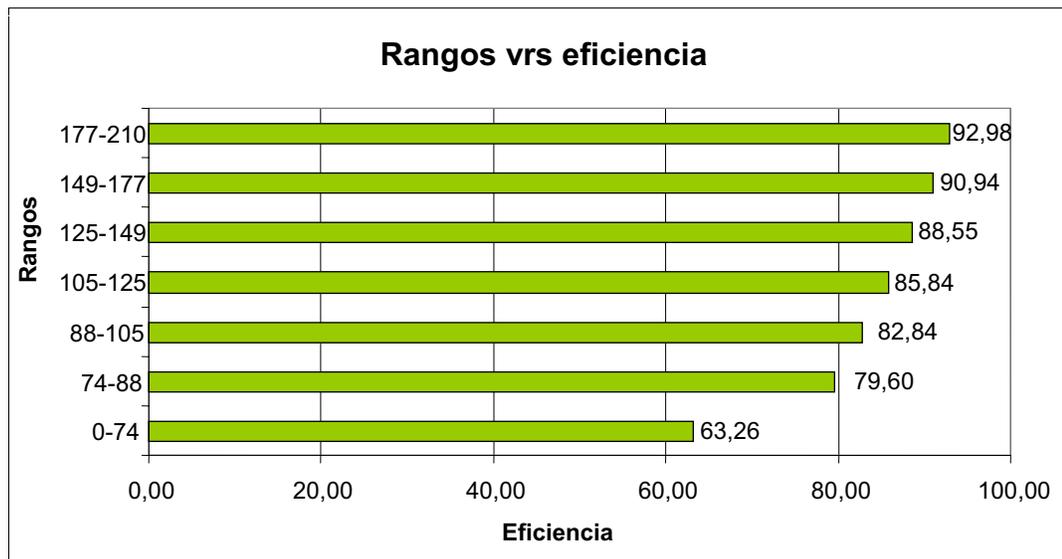
Fuente: elaboración propia.

La bibliografía consultada establece que en concentraciones fuera del rango de 0 g/cm^3 a 2 ,0 g/cm^3 se debe corregir la eficiencia total del ciclón, pero según la tabla XXXII, la concentración de partículas de hollín en los gases de combustión es de $5,9 \cdot 10^{-14} \text{g}/\text{cm}^3$, por lo tanto no es necesario realizar tal acción. La interpretación de la figura 58, se detalla a continuación:

- Al aumentar el tamaño de las partículas aumenta la eficiencia del ciclón.

- El rango de 0 μm a 74 μm tiene la menor eficiencia, con un 63,26%.
- El rango de 177 μm a 210 μm , presenta un 92,98% de eficiencia, siendo el porcentaje más alto.
- El rango de 149 μm a 177 μm , presenta la segunda mejor eficiencia con un 90,94%.

Figura 58. **Eficiencia del ciclón por intervalos de partículas de hollín**



Fuente: elaboración propia.

- Calcular la caída de presión del ciclón: es necesario conocer las siguientes variables:
 - Número de cabezas de velocidad: se utilizará la siguiente ecuación:

$$N_H = K \times \frac{a \times b}{D_s^2}$$

Donde:

- N_H = número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón
- K = constante, toma el valor de 16 para ciclones de entrada tangencial
- a = alto de la entrada del ciclón, en m
- b = ancho de la entrada del ciclón, en m
- D_s = diámetro de salida, en m

$$N_H = 16 \left(\frac{1,38 \text{ m} * 0,69 \text{ m}}{(1,38 \text{ m})^2} \right) = 8$$

- Caída de presión: para calcular la caída de presión se utilizará la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho * V_i^2 * N_H$$

Donde:

- ΔP = caída de presión en el ciclón, Pa
- ρ = densidad del gas portador, en Kg/m^3
- V_i = velocidad de entrada del gas en el ciclón, en m/s
- N_H = número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón

$$\Delta P = \frac{1}{2} \left(0,8345 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \left(15,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 * 8 \right) = 771,21 \text{ Pa}$$

Como se observa en la tabla XXXIV el valor de caída de presión debe ser menor a 2 488,16 Pa, por lo tanto el valor encontrado cumple con la condición requerida.

2.2.2.3. Diseño de un ciclón para dos calderas

El resumen de los valores de un ciclón diseñado para dos calderas se muestra en la tabla XLI.

Tabla XLI. **Resumen de datos de un ciclón diseñado para dos calderas**

Dato	Valor
Caudal	9,74 m ³ /s
Velocidad de entrada	15,2 m/s
Dc	1,51 m
Vi/Vs	1,27
Eficiencia total	81,65 %
ΔP	771,21 Pa

Fuente: elaboración propia.

Las dimensiones del ciclón diseñado para dos calderas, se detallan en la tabla XLII.

Tabla XLII. **Dimensiones del ciclón diseñado para dos calderas**

Altura de entrada	a	=	1,13	m
Ancho de entrada	b	=	0,57	m
Altura de salida	S	=	1,32	m
Diámetro de salida	Ds	=	1,13	m
Altura parte cilíndrica	h	=	2,26	m
Altura parte cónica	z	=	3,77	m
Altura total del ciclón	H	=	6,04	m
Diámetro salida partículas	B	=	0,57	m

Fuente: elaboración propia.

2.2.2.4. **Diseño de un ciclón para una caldera**

El resumen de los valores de un ciclón diseñado para una caldera se describe en la tabla XLIII.

Tabla XLIII. **Resumen de datos de un ciclón diseñado para una caldera**

Dato	Valor
Caudal	4,87 m ³ /s
Velocidad de entrada	15,2 m/s
Dc	1,06 m
Vi/Vs	1,30
Eficiencia total	84,14 %
ΔP	771,21 Pa

Fuente: elaboración propia.

Las dimensiones del ciclón diseñado para una caldera se detallan en la tabla XLIV.

Tabla XLIV. **Dimensiones del ciclón diseñado para una caldera**

Altura de entrada	a	=	0,80	m
Ancho de entrada	b	=	0,40	m
Altura de salida	S	=	0,93	m
Diámetro de salida	Ds	=	0,80	m
Altura parte cilíndrica	h	=	1,60	m
Altura parte cónica	z	=	2,67	m
Altura total del ciclón	H	=	4,27	m
Diámetro salida partículas	B	=	0,40	m

Fuente: elaboración propia.

2.2.2.5. Análisis de datos obtenidos del dimensionamiento del ciclón

En la tabla XLV se muestra el resumen de las principales características de los ciclones, de lo que se puede concluir lo siguiente:

- El mayor diámetro y altura es para el ciclón diseñado para tres calderas.
- La mayor eficiencia la presenta el ciclón diseñado para una caldera.
- Los parámetros del ciclón diseñado para dos calderas se encuentran entre los otros dos ciclones.

Tabla XLV. **Resumen de datos de los ciclones diseñados**

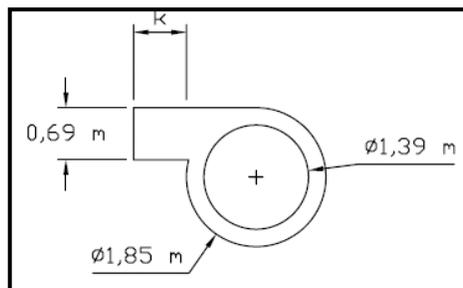
Cantidad de calderas	Dc	Eficiencia	Altura
Para una caldera	1,06 m	84,14 %	4,27 m
Para dos caldera	1,51 m	81,65 %	6,05 m
Para tres calderas	1,84 m	80,11 %	7,39 m

Fuente: elaboración propia.

A continuación se ilustran los diagramas de los ciclones, en los cuales se muestran las dimensionales Y, X y K, las cuales sus medidas son indistintas al dimensionamientos, para obtener dichos valores dependerá del lugar donde se instalará el ciclón.

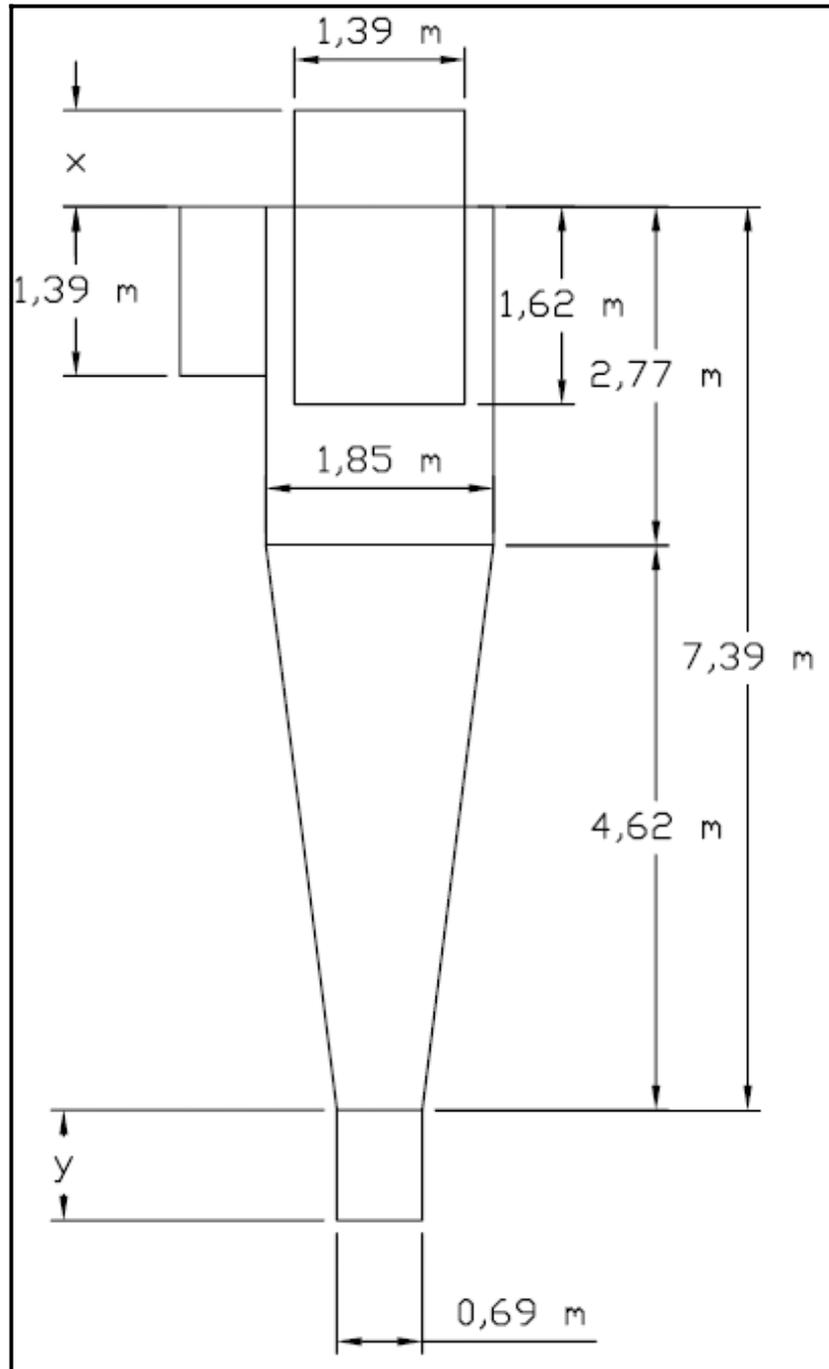
En las figuras 59, 60 y 61 se muestran las vistas lateral y en planta de un ciclón diseñado para tres calderas y también comparado con una caldera.

Figura 59. **Vista en planta de un ciclón diseñado para tres calderas**



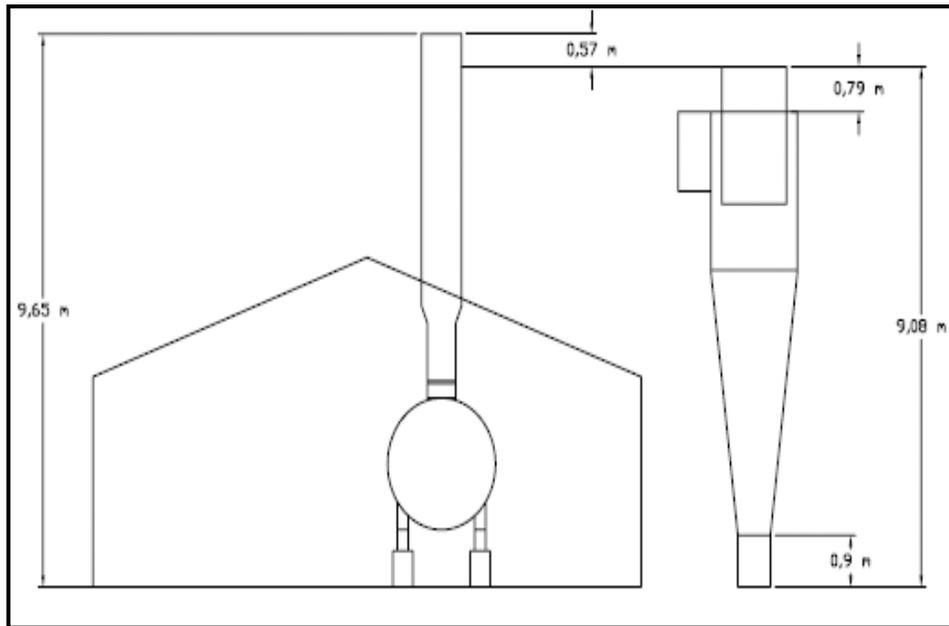
Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Vista lateral de un ciclón diseñado para tres calderas**



Fuente: elaboración propia.

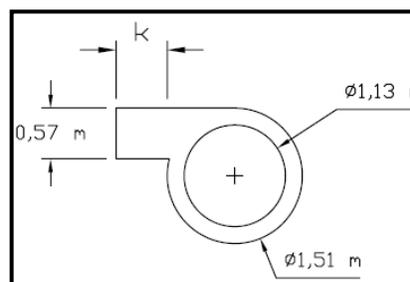
Figura 61. **Vista de un ciclón diseñado para tres calderas comparado con una caldera**



Fuente: elaboración propia.

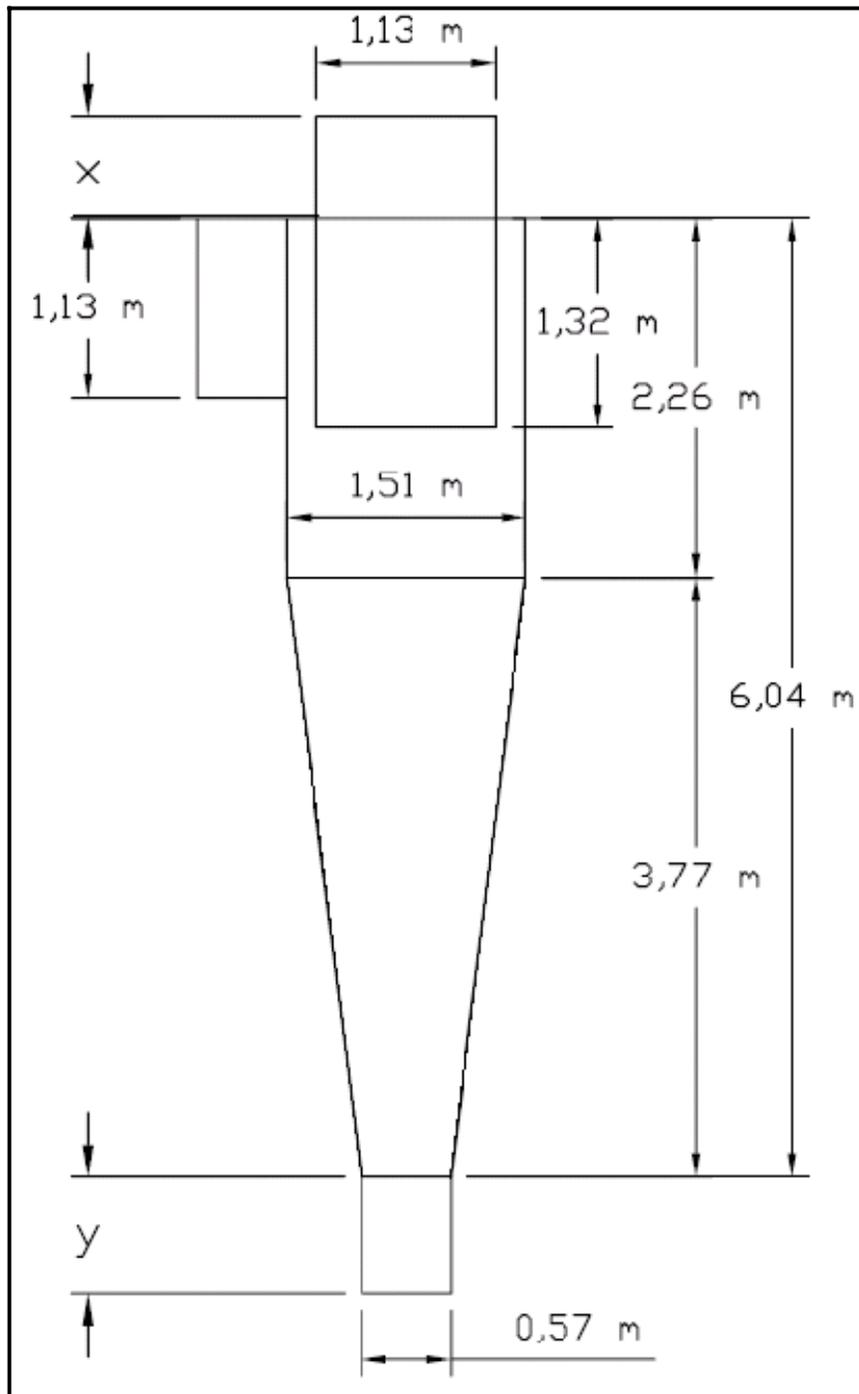
En las figuras 62, 63 y 64 se muestran las vistas lateral y en planta de un ciclón diseñado para dos calderas y también comparado con una caldera.

Figura 62. **Vista en planta de un ciclón diseñado para dos calderas**



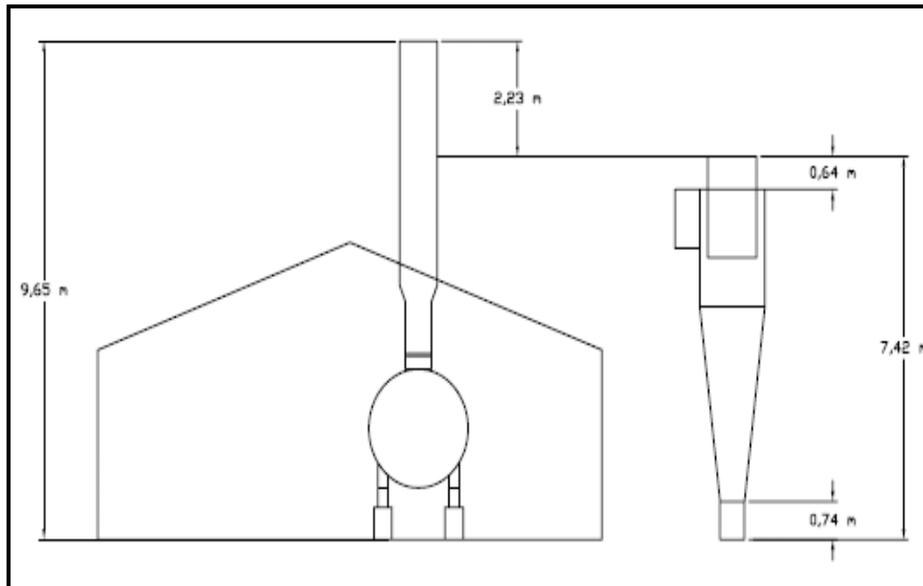
Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Vista lateral de un ciclón diseñado para dos calderas**



Fuente: elaboración propia.

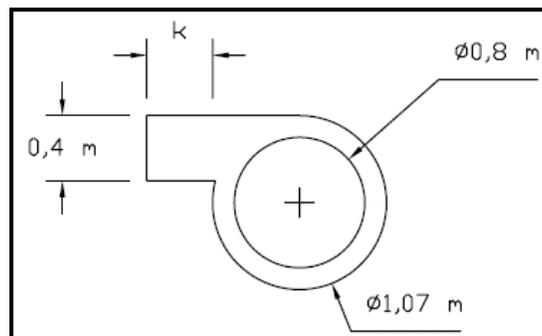
Figura 64. **Vista de un ciclón diseñado para dos calderas comparado con una caldera**



Fuente: elaboración propia.

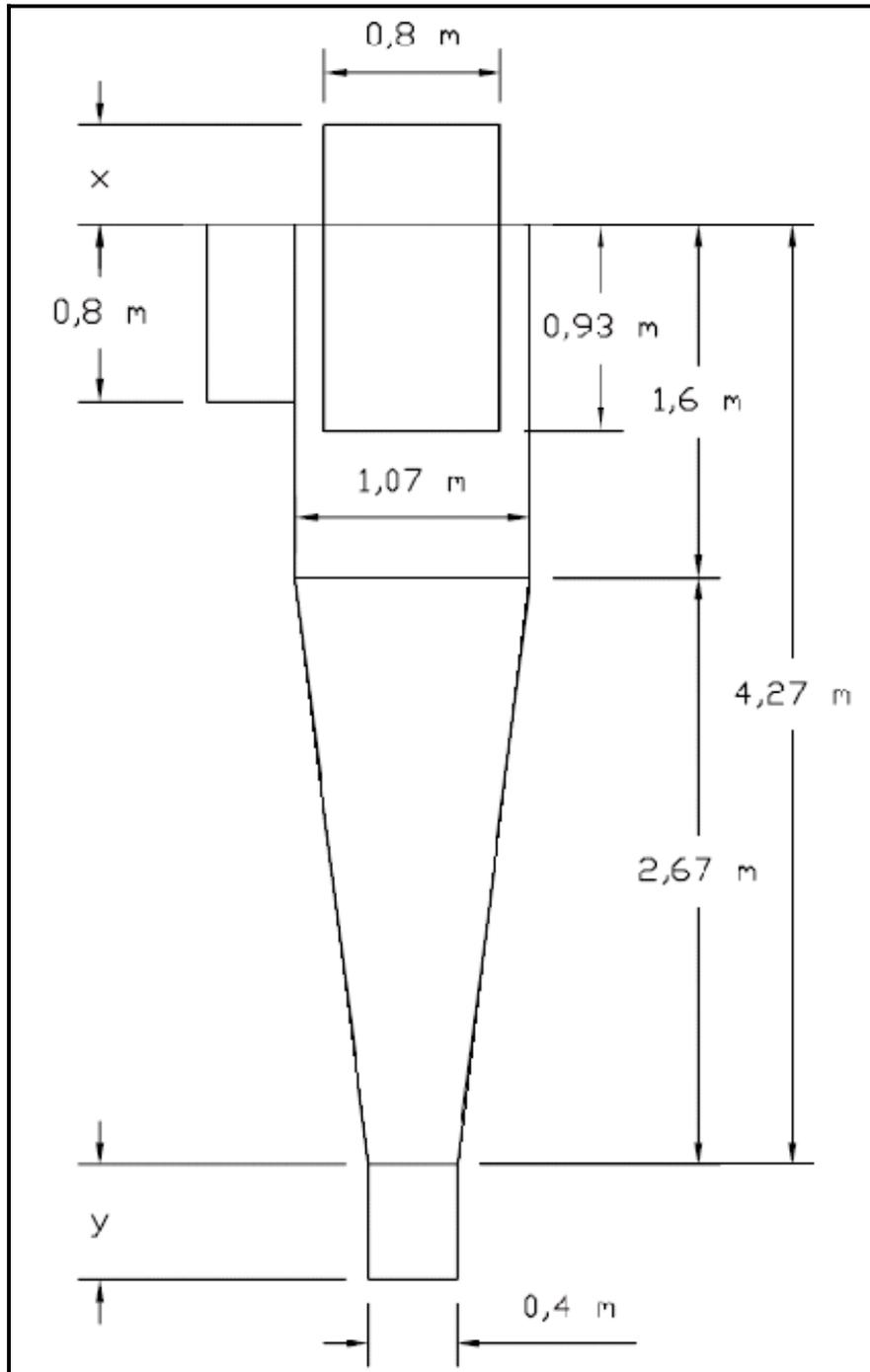
En las figuras 65, 66 y 67 se muestran las vistas lateral y en planta de un ciclón diseñado para una caldera y también comparado con la misma.

Figura 65. **Vista en planta de un ciclón diseñado para una caldera**



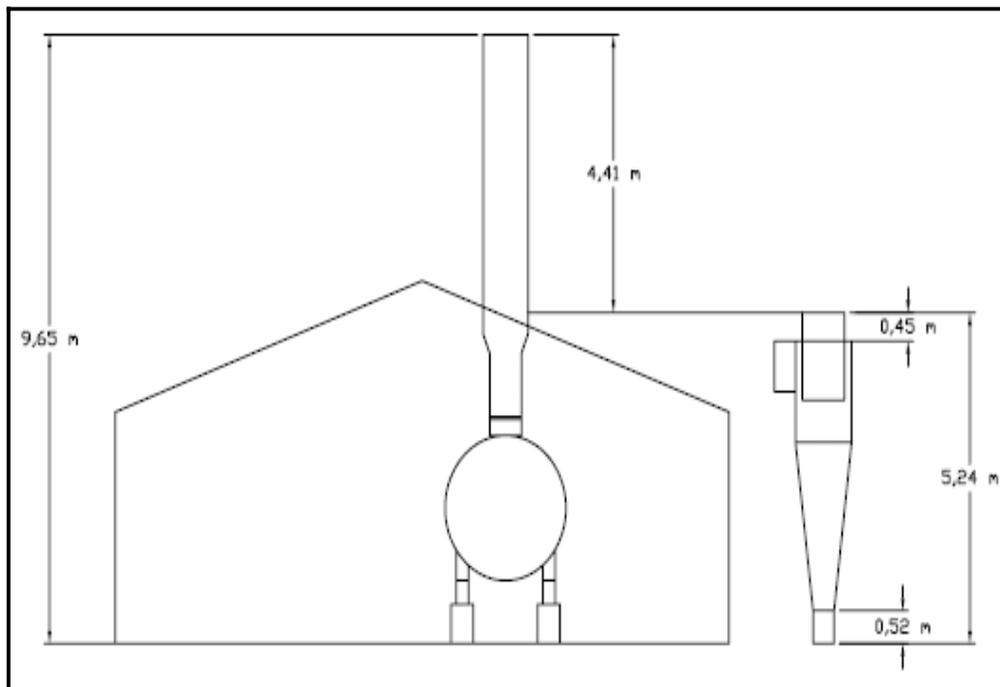
Fuente: elaboración propia.

Figura 66. Vista lateral de un ciclón diseñado para una caldera



Fuente: elaboración propia.

Figura 67. **Vista de un ciclón diseñado para una caldera comparado con una caldera**



Fuente: elaboración propia.

Luego de ver los diagramas, se ha establecido que el ciclón a utilizar será el diseñado para dos calderas debido a que, aun cuando la planta está en expansión, no se considera que en un futuro cercano funcionen las tres calderas simultáneamente, se prevee que solamente lo harán dos y la tercera se tendrá en reserva para utilizar en dado el caso que falle una. Después de este análisis se puede realizar el paso siete del dimensionamiento del ciclón.

2.2.2.6. Calcular el costo del ciclón

En la tabla XLVI se muestra el presupuesto de materiales a utilizar en la construcción del ciclón para dos calderas.

Tabla XLVI. **Presupuesto de materiales**

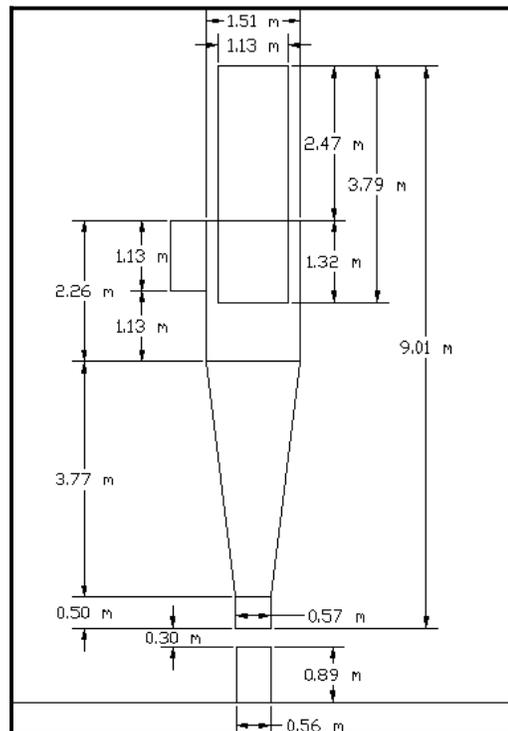
Cantidad	Material	Medida	Precio Unitario	Costo
30	Láminas de hierro negro de 4' * 8'	1/4"	Q. 1 440,00	Q. 43 200,00
6	Discos para pulir	Ø 9 "	Q. 54,00	Q. 324,00
6	Discos de corte	Ø 9 "	Q. 33,00	Q. 198,00
5 m	Eje redondo acero cold roll 1018/20	Ø 1 "	Q. 93,29	Q. 466,45
1	Cilindro de oxígeno	220 pie ³	Q. 235,00	Q. 235,00
1	Cilindro de acetileno	186 pie ³	Q. 622,95	Q. 622,95
10 lbs	Electrodo E 6011	1/8 "	Q. 12,03	Q. 120,30
10 lbs	Electrodo E 6013	1/8 "	Q. 12,35	Q. 123,50
6 sacos	Cemento		Q. 65,50	Q. 393,00
2 m ³	Arena		Q. 107,69	Q. 215,38
2 m ³	Piedrin		Q. 216,12	Q. 432,24
2 lbs	Alambre de amarre		Q. 4,84	Q. 9,68
30	Láminas a rolar		Q. 58,33	Q. 1 750,00
	Transporte de láminas		Q. 150,00	Q. 150,00
			Total	Q. 48 240,50

Fuente: elaboración propia.

2.2.2.7. Diagrama del ciclón

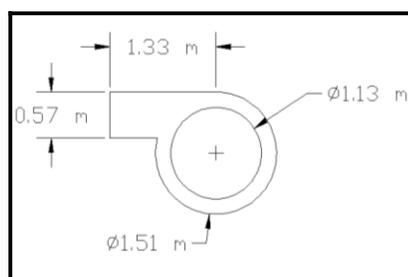
En las figuras 68 y 69, se observa al ciclón diseñado para dos calderas con sus medidas finales, con valores asignados a las variables Y, X y K de (0,50 m), (2,47 m) y (1,33 m) respectivamente.

Figura 68. **Vista de perfil del ciclón con sus medidas respectivas**



Fuente: elaboración propia.

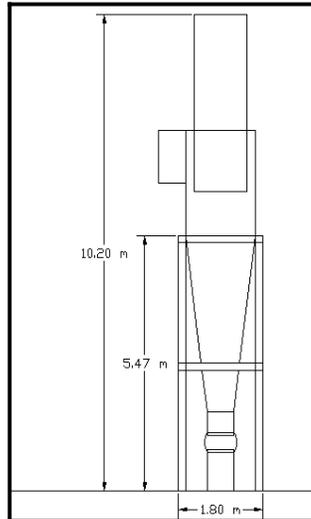
Figura 69. **Vista de planta del ciclón con sus medidas respectivas**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 70 se observa que la altura total del ciclón es de 10,2 m, además de la estructura que lo sostendrá.

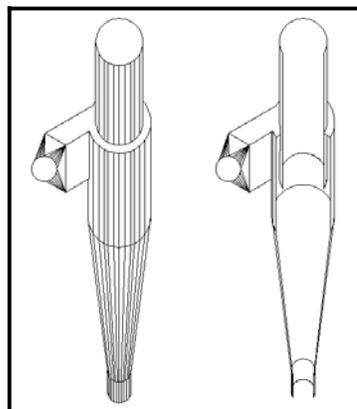
Figura 70. **Vista del ciclón con su estructura**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 71 se aprecia el ciclón en vista isométrica, donde se puede apreciar su interior.

Figura 71. **Vista isométrica del ciclón**



Fuente: elaboración propia.

2.2.2.8. Diagramas propuestos para el cuarto de calderas con ciclón instalado

El diámetro de la tubería que unirá a las chimeneas, con el ciclón se calcula con la siguiente ecuación:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}$$

Donde:

- d = diámetro del conducto, en m
- Q = caudal del gas de descarga, en m³/s
- V = velocidad del gas de descarga, en m/s

Utilizando los siguientes valores:

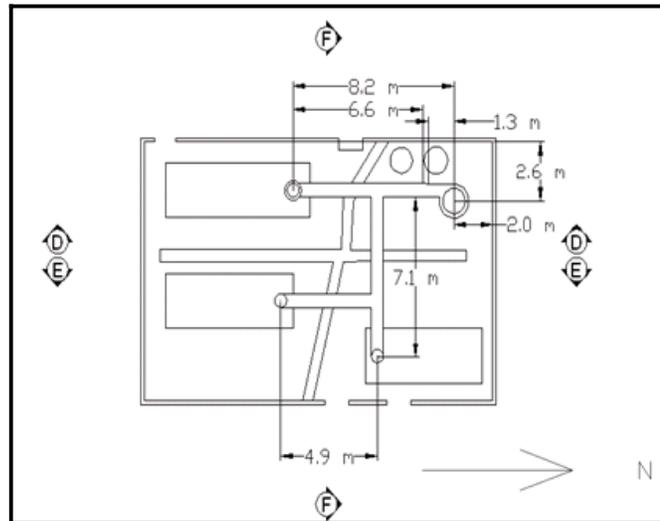
- Según la tabla XXXII, el caudal del gas de descarga para dos calderas es 9,74 m³/s.
- La velocidad del gas de descarga según tabla XXIV es 9,69 m/s.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,74 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot 9,69 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

$$d = 1,13 \text{ m}$$

En la figura 72 se aprecian los cortes realizados a la sala de calderas para apreciar la interconexión de las calderas de la empresa con el ciclón.

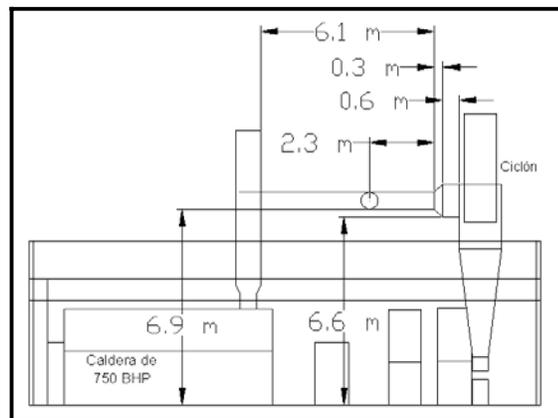
Figura 72. **Vista en planta de la sala de calderas con ciclón instalado**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 73 se ilustra al corte D, en el cual se observan las medidas de la caldera de 750 BHP y su conexión al ciclón.

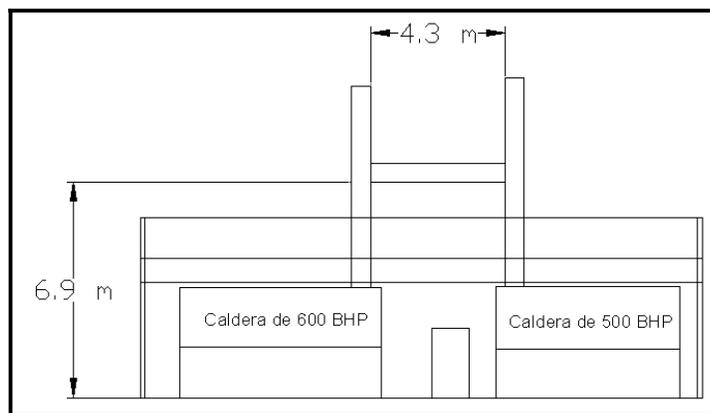
Figura 73. **Vista del corte D**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 74 se ilustra al corte E, en el cual se observan las medidas de la caldera de 600 BHP y su conexión con la caldera de 500 BHP.

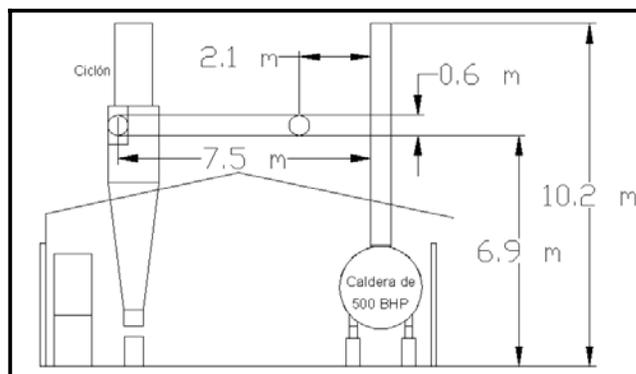
Figura 74. **Vista del corte E**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 75 se ilustra al corte F, en el cual se observan las medidas de la caldera de 500 BHP y su conexión al ciclón.

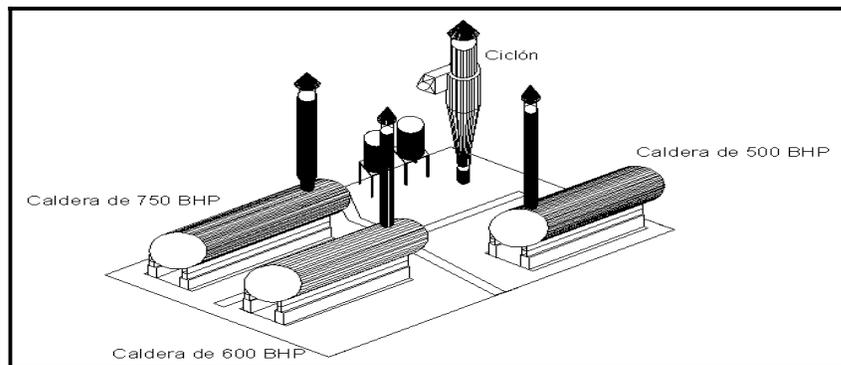
Figura 75. **Vista del corte F**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 76 se ilustra la vista isométrica de las calderas de 500 BHP, 600 BHP y 750 BHP y al ciclón sin conexiones entre sí.

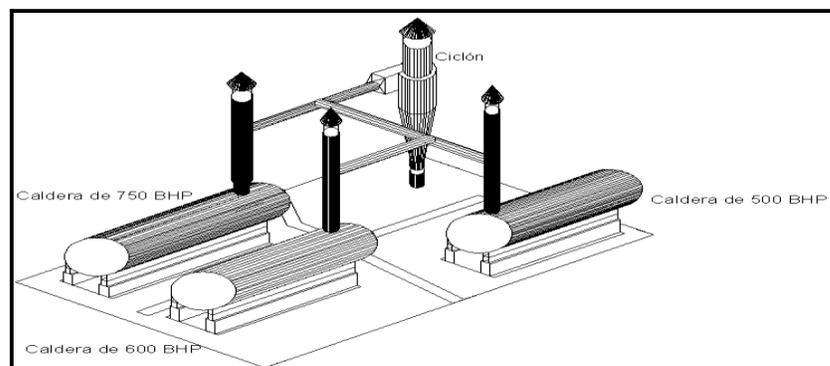
Figura 76. **Vista isométrica interior del ciclón sin conexiones**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 77 se ilustra la vista isométrica del área de calderas, donde se observan a las calderas de 500 BHP, 600 BHP y 750 BHP y al ciclón con conexiones entre sí.

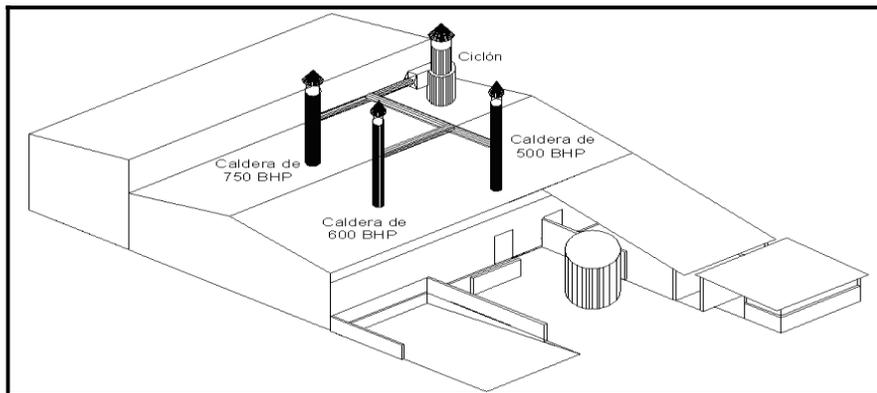
Figura 77. **Vista isométrica interior del ciclón con conexiones**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 78 se ilustra la vista isométrica de la parte exterior de la sala de caldera, en la cual se aprecian las chimeneas de las calderas de 500 BHP, 600 BHP y 750 BHP y las conexiones de éstas al ciclón

Figura 78. **Vista isométrica exterior del ciclón instalado**



Fuente: elaboración propia.

2.2.3. **Análisis posterior al diseño del colector de hollín**

Luego de terminado el dimensionamiento del ciclón, se realizan las siguientes acciones:

- Instrucciones para recolectar las muestras de hollín
- Instrucciones para la aplicación de las cartas de Ringelman
- Mantenimiento propuesto para el ciclón
- Variación del caudal que entra al ciclón
- Cálculo de la eficiencia de las calderas
- Cálculo del tiro de las chimeneas y de la chimenea del ciclón
- Diagrama de un visor colocado en el ciclón
- Diagramas propuestos para la ubicación de los damper

- Cálculo de un ventilador para evacuar gases de la chimenea del ciclón

2.2.3.1. Instrucciones para recolectar las muestras de hollín

A continuación se indicará el procedimiento para la toma de muestras de hollín una vez instalado el ciclón.

- Buscar frascos que contendrán el hollín y bolsas de plástico para colectarlo.
- Colocar las bolsas en los lugares de muestreo con un contrapeso.
- Dejar que el hollín se precipite en los lugares de muestreo por espacio de una semana.
- Recoger las muestras, introducirlas en los frascos, pesarlos y anotar los resultados.

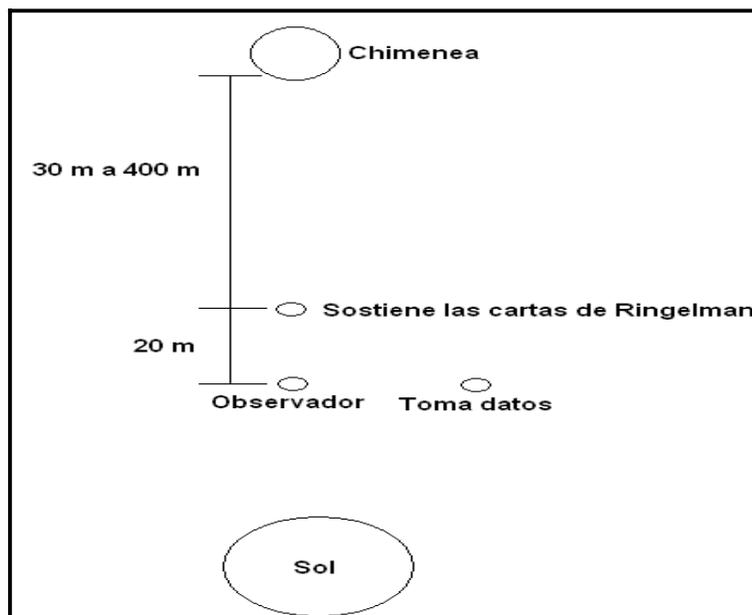
2.2.3.2. Instrucciones para la aplicación de las cartas de Ringelman

A continuación se indicará el procedimiento para la aplicación de cartas de Ringelman, una vez instalado el ciclón en el area de calderas.

- Preparar las cartas de Ringelman, un reloj y hojas impresas con la tabla del apéndice para tabular los datos obtenidos.
- Las acciones de las tres personas serán las siguientes: una sostendrá las cartas, otra procederá a indicar los intervalos de tiempo y decir el número de carta de Ringelman observado, y la tercera anotará los resultados en hojas impresas.

- Deberán cumplir los siguientes requisitos: la distancia a colocarse de la chimenea debe estar dentro del rango de 30 m a 400 m; entre el la persona que toma datos, y la que sostiene las cartas de ringelman debe haber una distancia aproximada de 20 m y el sol debe quedar preferentemente, a espaldas del observador, según como se observa en la figura 79.
- Tabular los datos, y calcular los resultados.

Figura 79. **Distancias requeridas en la toma de datos para la aplicación de las cartas de Ringelman**



Fuente: elaboración propia.

2.2.3.3. Mantenimiento propuesto para el ciclón

La tabla XLVII presenta la ficha técnica propuesta para el ciclón.

Tabla XLVII. **Ficha técnica propuesta para el ciclón**

Ficha Técnica			
Equipo:	Ciclón colector de hollín		
Localización:	Área de calderas		
Codificación:	4 821		
Diámetro mayor:	1,51 m	Familia de ciclones:	Alta captación
Altura al nivel del suelo:	10,20 m	Tipo de ciclón:	Stairmand
Altura de la chimenea:	3,79 m		

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se plantea en la tabla XLVIII, la rutina de mantenimiento del ciclón en la ficha de programación de trabajos.

Tabla XLVIII. **Propuesta de programación de trabajos de mantenimiento para el ciclón**

Programación de trabajos							
Área	Ejecuta	D	S	M	T	Se	A
Área de calderas							
Equipo: Ciclón colector de hollín							
Cambio de recipiente receptor de hollín	Calderista	X					
Revisión de posibles picaduras	Soldador					X	
D = Diario S = Semanal M = Mensual T = Trimestral Se = Semestral A = Anual							

Fuente: elaboración propia.

2.2.3.4. Variación del caudal que entra al ciclón

En esta sección se evaluará la eficiencia del ciclón diseñado para dos calderas si su caudal varía, es decir, si se utiliza con una sola caldera o bien se diera el caso de utilizarlo con tres calderas simultáneamente. La siguiente ecuación servirá para evaluar dicha situación:

$$\frac{100 - \eta_1}{100 - \eta_2} = \left[\frac{Q_2}{Q_1} \right]^{0.5}$$

Despejando η_2 :

$$\eta_2 = 100 - (100 - \eta_1) \left[\frac{Q_1}{Q_2} \right]^{0.5}$$

Donde:

- η_1 = eficiencia original en %
- Q_1 = caudal original en m^3/s
- η_2 = nueva eficiencia en %
- Q_2 = segundo caudal en m^3/s

- Utilizando tres calderas: la variación de la eficiencia que existe al operar el ciclón diseñado para dos calderas utilizando tres calderas, se calcula utilizando los datos que se aprecian en la tabla XLIX.

Tabla XLIX. **Datos requeridos para evaluar la nueva eficiencia utilizando tres calderas**

η_1	=	81,65 %
Q_1	=	9,74 m ³ /s
η_2	=	Nueva eficiencia
Q_2	=	14,61 m ³ /s

Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación.

$$\eta = 100\% - (100\% - 81,65\%) \left[\frac{9,74 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{14,61 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} \right]^{0,5}$$

$$\eta = 85,02\%$$

Calculando el porcentaje de variación.

$$81,65 - 100\%$$

$$85,02 - x\%$$

$$x = \frac{85,02 * 100\%}{81,65} = 104,12\% - 100\% = 4,12\%$$

Da como resultado un aumento de 4,12% en la eficiencia.

- Utilizando una caldera: la variación de la eficiencia que existe al operar el ciclón diseñado para dos calderas utilizando una caldera, se calcula utilizando los datos que se aprecian en la tabla L.

Tabla L. **Datos requeridos para evaluar la nueva eficiencia utilizando una caldera**

η_1	=	81,65 %
Q_1	=	9,74 m ³ /s
η_2	=	Nueva eficiencia
Q_2	=	4,87 m ³ /s

Fuente: elaboración propia.

Aplicando la ecuación.

$$\eta = 100\% - (100\% - 81,65\%) \left[\frac{9,74 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{4,87 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} \right]^{0,5}$$

$$\eta = 74,05\%$$

Cálculo de porcentaje de variación.

$$81,65 - 100\%$$

$$74,05 - x\%$$

$$x = \frac{74,05 * 100\%}{81,65} = 90,70\% - 100\% = -9,30\%$$

Da como resultado una disminución de 9,3% en la eficiencia.

- Resumen de resultados de la variación del caudal: al disminuir el caudal la eficiencia disminuye un 9,3% y al aumentar el caudal la eficiencia aumenta en 4,12%.

Tabla LI. **Resumen de ciclón de dos calderas**

Caudal	Eficiencia	Porcentaje de variación
9,74 m ³ /s	81,65%	0%
4,87 m ³ /s	74,05%	-9,3%
14,61 m ³ /s	85,02%	4,12%

Fuente: elaboración propia.

2.2.3.5. Cálculo de la eficiencia de las calderas

El cálculo de la eficiencia será realizado para cada una de las calderas que cuenta la empresa, esto para tener un conocimiento del estado que presentan. Se aplicará la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{M_v(h_g - h)}{M_c * hc}$$

Donde:

η = eficiencia de la caldera, en %

M_v = masa de vapor, en Lbm/hora

h_g = entalpía de vapor saturado a la presión de trabajo de la caldera,
en BTU/Lbm

h = entalpía a temperatura del agua de alimentación de la caldera,
en BTU/Lbm

M_c = consumo de combustible, en galón/hora

h_c = poder calorífico neto del combustible, en BTU/galón

Para encontrar la masa de vapor se utilizará la siguiente fórmula:

$$Q = M_v * (h_g - h_s)_{14,696\text{Psia} - 211,95^\circ\text{F}}$$

Despejando M_v :

$$M_v = \frac{Q}{(h_g - h_s)_{14,696\text{Psia} - 211,95^\circ\text{F}}}$$

Donde:

Q = capacidad de la caldera, en BTU/h.

M_v = masa de vapor, en Lbm/Hora.

h_g = entalpía de vapor saturado a la presión de una atmósfera, en
BTU/Lbm.

h_s = entalpía de líquido saturado a la presión de una atmósfera, en
BTU/Lbm.

- Cálculo de las variables necesarias para encontrar la eficiencia de las calderas

Para calcular la eficiencia de las calderas se requieren las siguientes variables:

- Capacidades y consumo de combustibles de las calderas: como se conoce la potencia de las calderas, puede conocerse su capacidad de aportar calor con la siguiente conversión $1 \text{ BHP} = 33\,504,75 \text{ BTU/h}$, también, en su placa se puede observar el consumo de combustible de cada una, los resultados se ilustran en la tabla LII.

Tabla LII. **Resumen de capacidades y consumo de combustibles de las calderas**

Caldera	Capacidad de la caldera	Consumo de combustible
500 BHP	16 752 375 BTU/h	139,5 GPH
600 BHP	20 102 850 BTU/h	167,5 GPH
750 BHP	25 128 563 BTU/h	209 GPH

Fuente: elaboración propia.

- Condiciones de trabajo de las calderas: en la tabla LIII se especifican las condiciones de trabajo de las calderas.

Tabla LIII. **Condiciones de trabajo de las calderas**

Condición	Valor
Presión de trabajo de las caldera, en Psia	90 Psi = 104,7 Psia
Temperatura del agua de alimentación a la entrada de la caldera	104 ° F
Poder calorífico neto del combustible	151 300 Btu/Galón
Presión de una atmósfera	14,696 Psia

Fuente: elaboración propia.

- Entalpías: las entalpías a calcular serán las siguientes:
 - Entalpía de vapor saturado a la presión de trabajo de la caldera: según anexo 5 se observa que el valor de 104,7 Psia, se encuentra entre los valores de 100 Psia y 110 Psia, para lo cual se interpolará con el objetivo de encontrar la entalpía de vapor saturado.

Tabla LIV. **Valores utilizados para encontrar la entalpía de vapor saturado a la presión de trabajo de la caldera**

Psia	BTU/Lbm
100	1 187,5
104,7	X
110	1 189,2

Fuente: elaboración propia.

$$\frac{104,7 - 100}{110 - 100} = \frac{x - 1187,5}{1189,2 - 1187,5}$$

$$1188,29 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}_m}$$

- Entalpía a temperatura del agua de alimentación a la entrada de la caldera: según anexo 6 se observa que el valor de 104 °F, se encuentra entre los valores de 100 °F y 110 °F para lo cual se interpolará para encontrar el valor deseado.

Tabla LV. **Valores utilizados para encontrar la entalpía a temperatura del agua de alimentación a la entrada de la caldera**

°F	BTU/Lbm
100	68,03
104	X
110	78,02

Fuente: elaboración propia.

$$\frac{104 - 100}{110 - 100} = \frac{x - 68,03}{78,02 - 68,03}$$

$$72,03 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}_m}$$

- Entalpía de vapor saturado y entalpía de líquido saturado a la presión de una atmósfera: según anexo 5 se observa que el valor de 14,696 Psia tiene las siguientes entalpías.

Tabla LVI. **Valores utilizados para encontrar la entalpía de vapor saturado y entalpía de líquido saturado a la presión de una atmósfera**

Entalpía de vapor saturado	=	1 150,30 BTU/Lbm
Entalpía de líquido saturado	=	180,21 BTU/Lbm

Fuente: elaboración propia.

- Resumen de los valores encontrados: los valores encontrados de las entalpías se resumen en la tabla LVII.

Tabla LVII. **Resumen de los valores de entalpías encontradas**

Entalpía de vapor saturado a la presión de trabajo de la caldera	=	1 188,29 BTU/Lbm
Entalpía a temperatura del agua de alimentación	=	72,03 BTU/Lbm
Entalpía de vapor saturado a la presión de una atmósfera	=	1 150,30 BTU/Lbm
Entalpía de líquido saturado a la presión de una atmósfera	=	180,21 BTU/Lbm

Fuente: elaboración propia.

- Eficiencia de caldera 500 BHP: proceder a calcular la eficiencia para la caldera de 500 BHP, pero antes se calcula la masa de vapor:

$$M_v = \frac{16\,752\,375 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}{\left[1\,150,30 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}_m} - 180,21 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}_m} \right]} = 17\,268,89 \frac{\text{Lb}_m}{\text{h}}$$

Cálculo de la eficiencia de la caldera:

$$\eta = \frac{17\,268,89 \frac{\text{Lb}_m}{\text{h}} \left[1\,188,29 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}_m} - 72,03 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}_m} \right]}{139,50 \frac{\text{Galon}}{\text{h}} * 151\,300 \frac{\text{BTU}}{\text{Galon}}} = 0,9133 * 100 = 91,33 \%$$

- Eficiencia de caldera 600 BHP: ahora se muestran los resultados de los cálculos de la masa de vapor y la eficiencia de la caldera de 600 BHP en la tabla LVIII.

Tabla LVIII. **Resumen de datos del cálculo de la eficiencia de la caldera de 600 BHP**

Masa de vapor	=	20 722,66	BTU/Lbm
Eficiencia	=	91,27	%

Fuente: elaboración propia.

- Eficiencia de caldera 750 BHP: ahora se muestran los resultados de los cálculos de la masa de vapor y la eficiencia de la caldera de 750 BHP en la tabla LIX.

Tabla LIX. **Resumen de datos del cálculo de la eficiencia de la caldera de 750 BHP**

Masa de vapor	=	25 903,33	BTU/Lbm
Eficiencia	=	91,44	%

Fuente: elaboración propia.

- Resumen de las eficiencias de las calderas: las tres calderas presentan una eficiencia alta, esto debido a la presión de trabajo seteadas y al buen manejo que han tenido de parte de sus operadores.

Tabla LX. **Resumen de las eficiencias encontradas**

Caldera		Eficiencia
500 BHP	=	91,33%
600 BHP	=	91,27%
750 BHP	=	91,44%

Fuente: elaboración propia.

2.2.3.6. **Cálculo del tiro de las chimeneas y de la chimenea del ciclón**

El cálculo del tiro de las chimeneas será realizado para cada una de las calderas que cuenta la empresa, y para la chimenea que eventualmente tendrá el ciclón. Para calcularlo se utilizará la siguiente fórmula, donde la condición a cumplir será que el tiro sea mayor o igual a un milímetro de columna de agua.

$$h = H(\delta_{\text{del aire a temperatura ambiente}} - \delta_{\text{de los gases de la combustion}})$$

Donde:

h = tiro de la chimenea, en Pa

H = altura de la chimenea, en m

δ = peso específico del aire a temperatura ambiente, en N/m^3

δ = peso específico de los gases de la combustión, en N/m^3

La altura de las chimeneas se aprecian en la tabla LXI.

Tabla LXI. **Alturas de las chimeneas**

Chimenea	Altura de la chimenea
Caldera de 500 BHP	6,70 m
Caldera de 600 BHP	6,40 m
Caldera de 750 BHP	6,40 m
Ciclón	3,79 m

Fuente: elaboración propia.

Los pesos específicos se calcularon de la misma forma, como se realizó en el cálculo del peso específico de los gases de combustión continuando con el uso del anexo 3 y la temperatura ambiente de 18,75 °C.

Tabla LXII. **Temperaturas de las chimeneas y el peso específico del aire en su interior**

Chimenea	Temperatura	Peso específico
Caldera de 500 BHP	160 °C	8,0 N/m ³
Caldera de 600 BHP	175 °C	7,73 N/m ³
Caldera de 750 BHP	150 °C	8,18 N/m ³
Temperatura ambiente	18,75 °C	11,88 N/m ³

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento para calcular el tiro para cada una de las chimeneas:

- Para caldera de 500 BHP

$$h = 6,7\text{m} * \left(11,88 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} - 8,0 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right) = 26,03 \text{ Pa} * \frac{1 \text{ mmca}}{9,8067 \text{ Pa}} = 2,65 \text{ mmca}$$

Como 2,61 mmca \geq 1 mmca, el tiro de la chimenea es el indicado para evacuar correctamente los gases de la combustión.

- Para caldera de 600 BHP

$$h = 2,71 \text{ mmca}$$

Como 2,67 mmca \geq 1 mmca, el tiro de la chimenea es el indicado para evacuar correctamente los gases de la combustión.

- Para caldera de 750 BHP

$$h = 2,41 \text{ mmca}$$

Como $2,37 \text{ mmca} \geq 1 \text{ mmca}$, el tiro de la chimenea es el indicado para evacuar correctamente los gases de la combustión.

Cálculo del tiro para la chimenea del ciclón, para realizar tal acción se tomará un promedio de las temperaturas de las demás chimeneas que se utilicen simultáneamente, en este caso será en parejas, como se observa en la tabla LXIII.

Tabla LXIII. **Temperatura de la chimenea del ciclón**

Pareja	Temperaturas		Promedio	Peso específico
Caldera de 500 BHP y 600 BHP	160 °C	175 °C	167,5 °C	7,86 N/m ³
Caldera de 500 BHP y 750 BHP	160 °C	150 °C	155 °C	8,09 N/m ³
Caldera de 600 BHP y 750 BHP	175 °C	150 °C	162,5 °C	7,95 N/m ³

Fuente: elaboración propia.

- Caldera de 500 BHP y 600 BHP

$$h = 1,55 \text{ mmca}$$

Como $1,53 \text{ mmca} \geq 1 \text{ mmca}$, el tiro de la chimenea es el indicado para evacuar correctamente los gases de la combustión.

- Caldera de 500 BHP y 750 BHP

$$h = 1,46 \text{ mmca}$$

Como $1,44 \text{ mmca} \geq 1 \text{ mmca}$, el tiro de la chimenea es el indicado para evacuar correctamente los gases de la combustión.

- Caldera de 600 BHP y 750 BHP

$$h = 1,52 \text{ mmca}$$

Como $1,49 \text{ mmca} \geq 1 \text{ mmca}$, el tiro de la chimenea es el indicado para evacuar correctamente los gases de la combustión. En la tabla LXIV se muestra un resumen de los tiros calculados en las chimeneas.

Tabla LXIV. **Resumen de los tiros de las chimeneas**

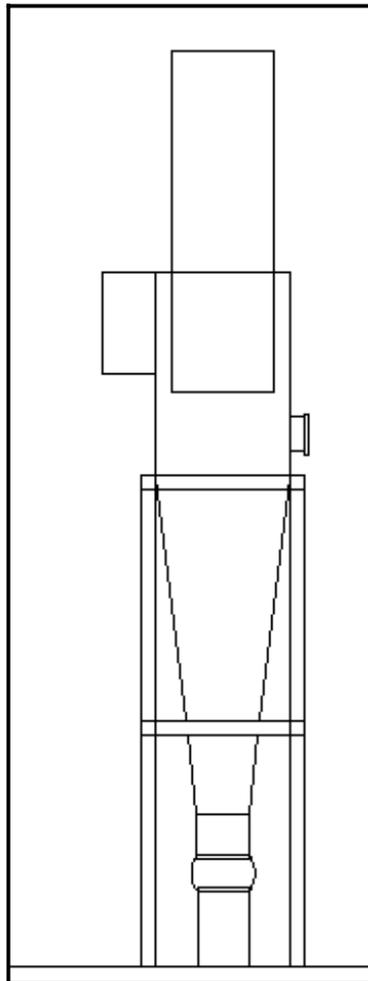
Chimenea	Tiro
Caldera de 500 BHP	2,61 mmca
Caldera de 600 BHP	2,67 mmca
Caldera de 750 BHP	2,37 mmca
Caldera de 500 BHP y 600 BHP	1,53 mmca
Caldera de 500 BHP y 750 BHP	1,44 mmca
Caldera de 600 BHP y 750 BHP	1,49 mmca

Fuente: elaboración propia.

2.2.3.7. Diagrama de un visor colocado en el ciclón

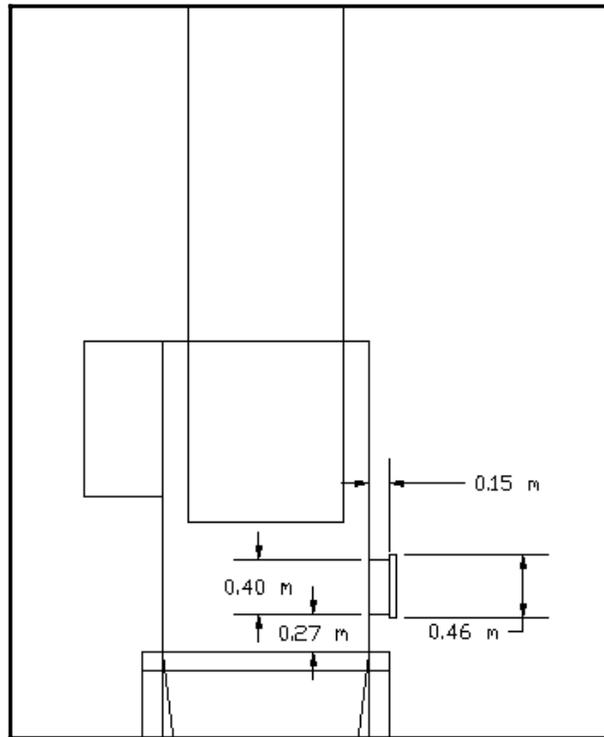
En el diseño del ciclón se propone incluir un visor, esto con el propósito de limpiarlo internamente, si se obstruyera por la acumulación excesiva de partículas de hollín. En las figuras 80 y 81 se observa el visor que llevaría colocado el ciclón.

Figura 80. Vista de perfil del ciclón con visor instalado



Fuente: elaboración propia.

Figura 81. **Medidas del visor**



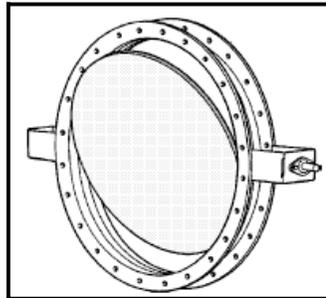
Fuente: elaboración propia.

2.2.3.8. **Diagramas propuestos para la ubicación de los dampers**

En la instalación del ciclón es necesario colocar dampers, los cuales tendrán la función de desviar el flujo de los gases de la combustión de las distintas calderas hacia él.

Eventualmente será necesario darle mantenimiento al ciclón, por lo cual los dampers obstruirán el paso de los gases de combustión hacia el ciclón y saldrán por sus chimeneas respectivas. En la figura 82 se observará la forma de un damper.

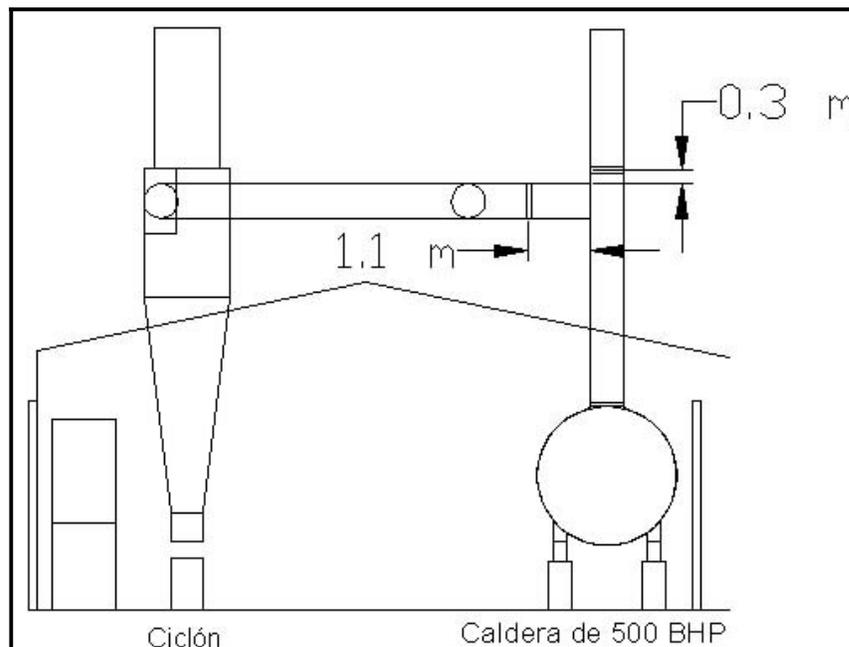
Figura 82. **Vista de un damper**



Fuente: <http://libros.redsauce.net/CentralesTermicas/PDFs/23CT.pdf>. Consulta: agosto de 2011.

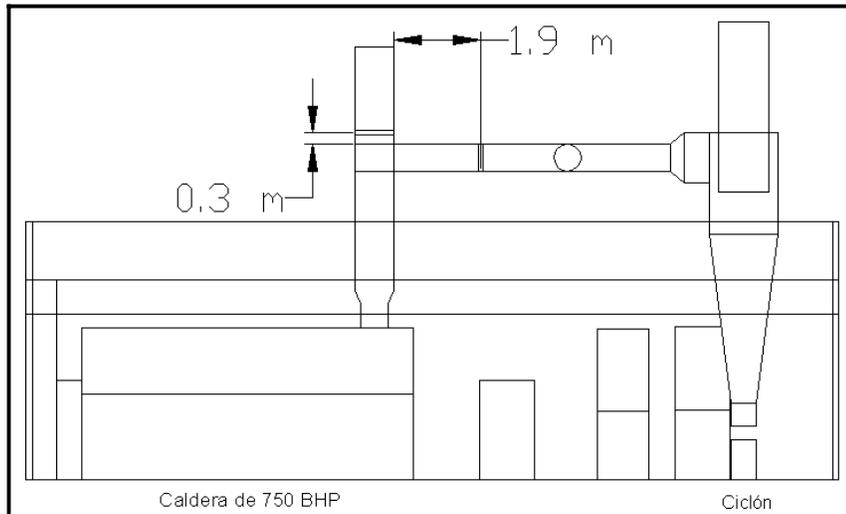
En las figuras 83, 84 y 85 se observa la ubicación propuesta de los dampers.

Figura 83. **Dampers para la caldera de 500 BHP**



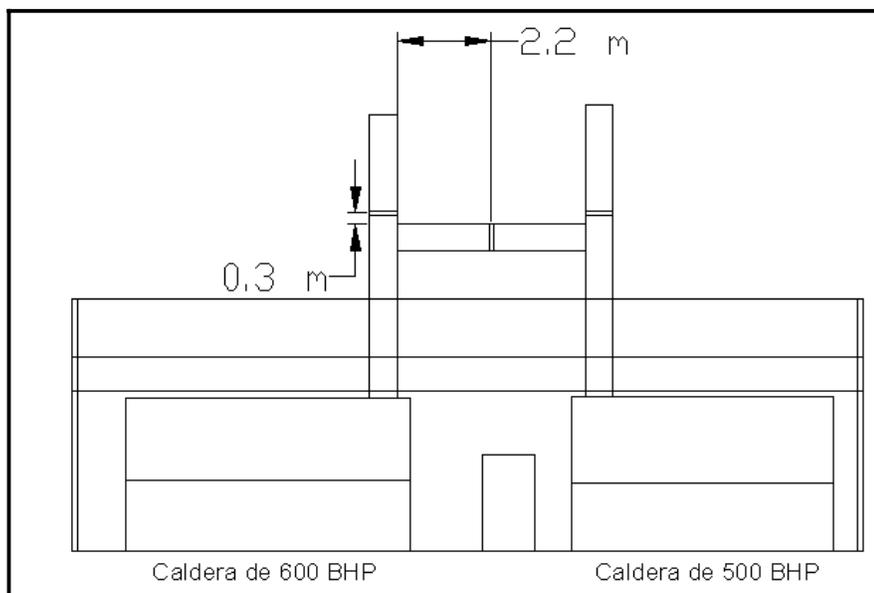
Fuente: elaboración propia.

Figura 84. **Dampers para la caldera de 750 BHP**



Fuente: elaboración propia.

Figura 85. **Dampers para la caldera de 600 BHP**



Fuente: elaboración propia.

2.2.3.9. Cálculo de un ventilador para evacuar gases de la chimenea del ciclón

Para ayudar al ciclón a evacuar los gases de combustión si éste no pudiera hacerlo, se ha decidido utilizar un ventilador centrífugo de alabes de paleta cuyo rango de rendimiento mecánico es de 45% - 60%, se ha escogido este tipo de ventilador por no tener la limitación del diámetro del ducto de la chimenea. La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$N = k * \left(\frac{\Delta p * Q}{\eta_{mec} * C} \right)$$

Donde:

- N = potencia del ventilador, en kW
- K = factor de compresibilidad del aire, adimensional
- Δp = aumento de la presión a través del ventilador, en kPa
- Q = caudal de gases a evacuar, en m³/s
- η_{mec} = rendimiento mecánico de ventiladores, adimensional
- C = 1 para usar en sistema internacional, adimensional

Las condiciones de diseño del ventilador se ilustran en la tabla LXV.

Tabla LXV. **Condiciones de diseño del ventilador**

K	=	1	Esto debido porque se asume como gas ideal.
Δp	=	771,1 Pa o 0,771 kPa	Es la pérdida de presión a través del ciclón.
Q	=	9,74 m ³ /s	Es el caudal de gases de las dos calderas.
η_{mec}	=	0,525	Se tomó como un promedio del rango del rendimiento de los ventiladores centrífugos de alabes de paleta.

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de la potencia del ventilador.

$$N = 1 * \left(\frac{0,771 \text{ kPa} * 9,74 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,525 * 1} \right) = 14,31 \text{ kW} * \frac{1 \text{ HP}}{1,341 \text{ kW}} = 19,19 \text{ HP}$$

El ventilador a utilizar es de 14,31 kW o 19,19 HP.

3. FASE DE INVESTIGACIÓN: PLAN DE CONTINGENCIA CONTRA RIESGOS EN EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

3.1. Datos generales

El plan de contingencia abarcará a los integrantes del departamento de mantenimiento con tal de garantizar su integridad, se planificarán la realización de capacitaciones de temas relacionados, así como de planos de las instalaciones que indiquen los lugares seguros.

3.1.1. Introducción

El plan de contingencia en la empresa será para proporcionar a sus trabajadores información de los aspectos importantes que deben tomar en caso que se presente un accidente. Este plan es un instrumento de gestión que se utilizará para el buen manejo de las circunstancias fuera de la rutina diaria de los trabajadores del departamento de mantenimiento.

Dicho plan contiene las medidas técnicas, humanas y organizativas necesarias para garantizar la continuidad de las operaciones del departamento. Uno de los características es proveer información sobre las acciones, lugares, medidas, limitantes técnicas y físicas del departamento.

En el caso de un desastre u otra circunstancia que conlleve la necesidad de operaciones de contingencia, la organización normal del departamento deberá cambiar a una organización de contingencia.

Esta organización de contingencia deberá centrarse en cambiar, la estructura actual y funciones de un día normal de trabajo, a la estructura y funciones requeridas por la contingencia trabajando en conjunto para la restauración en tiempo de las operaciones de la misma.

3.1.2. Propósito del plan de contingencia

El propósito de este plan es mantener la continua ejecución de las labores de trabajo de los integrantes del departamento de mantenimiento en el caso extraordinario que un evento pudiera ocasionar algún daño a un integrante del departamento.

El plan de contingencia contiene las necesidades y requerimientos de tal forma que el departamento pueda estar preparado para responder a un evento y, en su caso, hacer eficiente la restauración de los sistemas que hayan estado inoperables por el evento.

3.1.3. Objetivos del plan

Los objetivos del plan de contingencia contra riesgos en el departamento de mantenimiento son:

- General
 - Garantizar la protección del personal y de la maquinaria del taller de mantenimiento.

- Específico
 - Creación de un organigrama para la estructura de las brigadas para la correcta distribución de funciones.
 - Determinar los riesgos presentes en el taller para su control y minimización.
 - Establecer los lugares seguros del departamento en caso de una emergencia.

3.2. Formación de brigadas

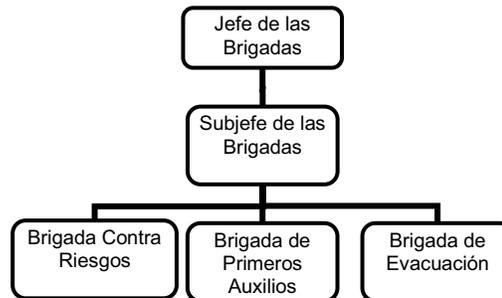
Las brigadas son conformadas por las personas integrantes del taller de mantenimiento, con base en los distintos puestos presentes en el departamento, con tal de lograr una diversidad.

Las brigadas a formar serán tres, las cuales tendrán bien definidas sus funciones, y contarán con un jefe y subjefe.

3.2.1. Estructura de las brigadas

En la figura 86 se ilustra el organigrama de la estructura que tendrán las brigadas.

Figura 86. **Estructura de las brigadas**



Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Funciones de las brigadas

A continuación se describen las funciones que deben de desarrollar los integrantes de las diversas brigadas.

3.2.2.1. Jefe de las brigadas

Las funciones del jefe de las brigadas son las siguientes:

- Comunicar de manera inmediata a la alta dirección de la ocurrencia de una emergencia.
- Verificar si los integrantes de las brigadas están suficientemente capacitados y entrenados para afrontar las emergencias.
- Estar al mando de las operaciones para enfrentar la emergencia.

3.2.2.2. Subjefe de las brigadas

El subjefe de las brigadas es responsable de las siguientes acciones:

- Asistir al jefe de las brigadas en sus funciones.
- Reemplazar al jefe de las brigadas en caso de ausencia y asumir las mismas funciones establecidas.

3.2.2.3. Integrantes de la brigada contra riesgos

Los integrantes de esta brigada tendrán a cargo las siguientes responsabilidades:

- Comunicar al jefe de las brigadas de la presencia de un lugar o actividad que implique riesgo para las personas o máquinas.
- Buscar la forma de minimizar o desaparecer el riesgo encontrado.
- Implementar las soluciones propuestas.
- Evaluar las notificaciones que le realicen los demás compañeros de acciones inseguras.

3.2.2.4. Integrantes de la brigada de primeros auxilios

Las acciones de esta brigada son las siguientes:

- Conocer la ubicación de los botiquines en la instalación y estar pendiente del buen abastecimiento con medicamento de los mismos.
- Brindar los primeros auxilios a los heridos leves en las zonas seguras.
- Evacuar a los heridos de gravedad a los establecimientos de salud más cercanos a las instalaciones.
- Estar suficientemente capacitados y entrenados para afrontar las emergencias.

3.2.2.5. Integrantes de la brigada de evacuación

Esta brigada tendrá a su cargo las siguientes funciones:

- Comunicar de manera inmediata al jefe de las brigadas del inicio del proceso de evacuación.
- Conocer las zonas seguras, zonas de riesgo y las rutas de evacuación de las instalaciones a la perfección.
- Abrir inmediatamente las puertas de evacuación de la empresa, si éstas se encuentran cerradas.
- Dirigir al personal y visitantes en la evacuación de las instalaciones.
- Verificar que todo el personal y visitantes hayan evacuado las instalaciones.
- Conocer la ubicación de los tableros eléctricos, llaves de suministro de agua y tanques de combustibles.
- Estar suficientemente capacitados y entrenados para afrontar las emergencias.

3.3. Activación del plan y alerta

El sistema de activación del plan y su alerta se describe a continuación:

3.3.1. Sistema de alerta temprana

En el sistema de alerta temprana se tratará de la prevención de riesgos por medio de la identificación de riesgos y amenazas, así como las recomendaciones para solucionar los efectos secundarios.

Posteriormente se impartirán capacitaciones en prevención y mitigación, y finalmente se definirán los planos de las instalaciones del departamento de mantenimiento donde se desarrollará el plan de contingencia.

3.3.2. Sistema de alerta

Como en varias situaciones de la vida cotidiana se está expuesto a riesgos o percances que podrían ocasionar perjuicios en la integridad de las personas, con la diferencia que en algunos lugares será mayor el riesgo, y en otros menor.

En un taller de mantenimiento el riesgo de sufrir un accidente es relativamente alto, si no existe una atención especial a las actividades que allí se realizan, pero por el contrario, teniendo cuidado en la realización de esas tareas el riesgo se puede disminuir considerablemente.

El sistema de alerta abarcará accidentes como la manipulación de máquinas como tornos, esmeriles, fresadoras, o bien máquinas de soldadura, etc.

Los compañeros de trabajo avisarán a los integrantes de las diversas brigadas, los cuales evaluarán que acción es la más recomendable a seguir, para ayudar al integrante del equipo.

3.3.3. Criterios de activación

Con base en la situación que se presente así será la forma de actuar de las brigadas.

Para la brigada contra riesgos, se presentan algunos criterios de activación.

- Algún integrante de la brigada observa una actividad o acción potencial de riesgo.
- Es notificado cualquier integrante de la brigada de riesgos de una actividad o acción potencial de riesgo.

Para la brigada de primeros auxilios, se presentan algunos criterios de activación.

- Si algún integrante de la brigada observa un accidente.
- Es notificado cualquier integrante de la brigada de primeros auxilios de la ocurrencia de un accidente.
- Evaluar con la brigada de evacuación si es necesario trasladar a la persona a un centro asistencial.

Para la brigada de evacuación, se presentan algunos criterios de activación.

- Es notificado cualquier integrante de la brigada de evacuación de la ocurrencia de un accidente.
- Evaluar con la brigada contra riesgos si es necesario trasladar a la persona a un centro asistencial

3.4. Primera etapa: antes de la emergencia

En la primera etapa del plan de contingencia se abarcará la evaluación de riesgos presentes en el departamento de mantenimiento y también formas de minimizarlos.

3.4.1. Evaluaciones de riesgos

Las evaluaciones de riesgos serán realizadas, principalmente por el jefe, subjefe de las brigadas y la brigada de riesgos, aunque éstas serán integrales, en las cuales podrán participar los integrantes del taller de mantenimiento que pertenezcan o no a otra brigada.

3.4.1.1. Metodología del análisis de riesgos

Para hallar los riesgos se propone la siguiente metodología:

- Al inicio de este plan de contingencia
 - Realización de reuniones que las programará el jefe de las brigadas.
 - Preguntar a los integrantes del departamento qué riesgos han notado en la empresa.
 - Indagar la forma de minimizar o desaparecer el riesgo detectado.
 - En caso de ser necesario, realizar presupuestos para llevar a cabo las acciones que se establezcan en las reuniones.

- De forma continua
 - Realización de reuniones, luego de que se presente un accidente.

- Indagar todo lo relacionado con el accidente, es decir, determinar las causas, lugares, involucrados, y posibles soluciones.
 - Actualizar la lista de riesgos que se encuentren en las reuniones.
 - En caso de ser necesario, realizar presupuestos para llevar a cabo las acciones que se establezcan en las reuniones.
- Identificación de actividades que implican riesgos

Luego de observaciones, se determinaron los riesgos presentes en la planta, los cuales se describen en la tabla LXVI.

Tabla LXVI. **Evaluación de riesgos**

Riesgos en el taller de mantenimiento		
	Existente	No existente
EL ÁREA DE TRABAJO		
Espacios libres de interferencias por posible caídas en áreas de trabajo.		X
Zonas específicas de circulación para peatones y vehículos.	X	
Suelos no resbaladizos, de fácil limpieza y drenaje, que eviten acumulación de agua, de aceite y otros líquidos.		X
Separación mínima entre máquinas y equipos e instalación (80 cm).		X
Escaleras con disposición de barandillas.		X

Continuación de la tabla LXVI.

Altura de los techos (2,5 m en oficinas y 3 m en taller). El espacio disponible por trabajadores de 10 m 3.		X
Existencia de botiquín de primeros auxilios en el taller.	x	
ORDEN Y LIMPIEZA		
Un suelo exento de materia resbaladiza y limpia.		X
Áreas de trabajo libres de obstáculos tanto en suelo como en altura.		X
Lugar fijo para las herramientas y materiales de trabajo.		X
Realizar limpieza en el área de trabajo.		X
Respetar la amplitud de los pasillos en los almacenes.		X
Limpieza periódica de las ventanas.		X
CONDICIONES AMBIENTALES		X
Realizar mediciones de ruido y verificar periódicamente en caso de que en algunas áreas se supere los 80 dB.	X	
Disponer en todas las áreas de la empresa de ventilación general, natural o forzada.		X
Niveles de iluminación general y localizada adecuados.		X
Focos luminosos dispones de elementos difusores de luz así como de protectores antideslumbrantes.		X

Continuación de la tabla LXVI.

Utilización de las señales de prohibido fumar.		X
SEÑALIZACIÓN		
Señalización de los equipos de protección contra incendios.		X
Señalización de la obligatoriedad del uso de equipos de protección individual (EPI's)		X
Señalización los sentidos de circulación de vehículos.		X
Señalización la situación de los equipos de protección contra incendios.		X
Pintar con los colores adecuados los conductos diferentes de conducción de fluidos.		X
Señalización de la prohibición de fumar y las llamas desnudas en las zonas de pintura (cabina, para reparación y áreas de mezcla.)		X
Señalización de los cuadros eléctricos con la señal de advertencia de riesgos eléctricos.	X	
Señalización de las salidas de emergencia y de los caminos de evacuación.	X	
ALMACENAMIENTO		
Almacenamiento de materiales en lugares específicos para cada fin.		X
Incorporación de un responsable de gestión de almacén.		X
Verificar si la forma y resistencia de los materiales permite su apilado.		X

Continuación de la tabla LXVI.

Comprobar que las herramientas están bien sujetas entre sí y no ofrecen peligro de caída.		X
Comprobación de las estructuras y las bandejas sean lo suficientemente resistentes.		X
No dejar salientes o aristas en los componentes de las estanterías.		X
Procurar que la altura ofrezca condiciones de estabilidad.		X
EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL		
Definir los procesos y tareas en que es necesario utilizar los equipos.		X
Incorporar una norma escrita con indicación de los procesos y las tareas, así como su uso obligatorio.		X
Controlar la entrega del material.		X
Comprobar periódicamente el uso correcto del material.	X	
Disponer de calzado de seguridad.	X	
Disponer de protección para las vías respiratorias.		X
Disponer de buzo, mono o ropa de trabajo.		X
HERRAMIENTAS MANUALES Y PORTÁTILES		
Disponer de las herramientas diseñadas específicamente para cada tarea.		X
Mantenimiento de las herramientas en buen estado de limpieza y conservación.	X	
Almacenar en lugar seco y protegidas de daños.		X

Continuación de la tabla LXVI.

Verificar si las muelas indican el número máximo de revoluciones y garantizan la velocidad máxima periférica.		X
Verificar si las amoladoras incorporan indicación de rpm de los ejes portamuelas.		X
Comprobar periódicamente la velocidad de las amoladoras neumáticas.		X
Incorporación de cubierta de protección alrededor de las amoladoras.		X
COMPRESORES		
Revisión anual por parte de un operario.		X
Llevar libro de registro de los controles y revisiones realizadas.		X
Verificar la incorporación de manómetro.		X
Verificar la incorporación de válvula de seguridad precintada y en buen estado.		X
Comprobar si las correas de transmisión se encuentran protegidas.		X
Verificar que el aceite lubricante es el recomendado por el fabricante y que se realiza su cambio en la periodicidad que indica el fabricante.		X
RIESGOS ELÉCTRICOS		
Existencia de una toma de masa.		X
Protecciones contra sobrecargas, cortocircuitos y contactos eléctricos indirectos		X

Continuación de la tabla LXVI.

Disponer de protección por doble aislamiento y transformador de seguridad para obtener 12-24 V. en las máquinas o herramientas portátiles que carezcan de puesta a tierra.		X
Aislamiento en todo el recorrido de los conductores eléctricos y los empalmes y conexiones mediante regletas, cajas o dispositivos equivalentes.		X
Los cuadros eléctricos metálicos deben estar conectados a tierra.		X
RIESGOS MECÁNICOS		X
Aislar totalmente los elementos móviles de transmisión.		X
Colocar resguardos fijos que impidan acceso a los órganos móviles, a los que se tenga que acceder en determinadas ocasiones.		X
Colocar dispositivos de parada de emergencia en aquellas máquinas que así lo requieran Dejar la máquina en situación segura en caso de interrupción momentánea del suministro de energía.		X
Guardar la distancia necesaria en la que se pueda trabajar sin riesgo de lesión o accidente.		X
Disponer de resguardos regulables de fácil manipulación en las máquinas que así lo requieran.		X
RIESGOS DE INCENDIO		
Reducir el uso de materias inflamables en las zonas de trabajo (solo el necesario).		X

Continuación de la tabla LXVI.

Almacenar los residuos y los trapos de limpieza usados en recipientes ignífugos provistos de cierre.		X
Prohibir fumar y mantener llamas desnudas en las zonas con riesgo de incendios.		X
Revisión periódica de los equipos de extinción.		X
Formar a los operarios en prevención y extinción de incendios.		X
Los recipientes contenedores de pintura, disolventes, etc. deben cerrarse rápidamente una vez utilizados para evitar concentración de gases por evaporación.		X
RIESGOS DE SOLDADURA Y CORTE		
Proteger contra las radiaciones y destellos nocivos por medio de pantallas inactivas		X
Disponer de sistemas de protección contra el impacto de agentes nocivos o susceptibles de provocar lesiones o quemaduras mediante el empleo de medios de protección individual.		X
Almacenar las botellas de gas en lugares independientes que estén bien ventilados, no subterráneos, resistentes al fuego.		X
Sujetar y fijar a un bastidor las botellas, así como disponer de un buen carro para su transporte.		X
Las botellas (llenas o vacías) han de disponer de caperuza o de protector.		X
Para la soldadura con arco utilizar porta electrodos y cables aislados.		X

Continuación de la tabla LXVI.

En los aparatos oxiacetilénicos las mangueras han de estar perfectamente identificadas (rojo para el acetileno y verde para el oxígeno).		X
Disponer de válvulas antirretorno homologadas, así como de mano reductores y manómetros.		X
RIESGOS DE PINTURA		X
Usar mascarilla, máscara o careta autónoma o alimentación externa de aire al aplicar mediante pulverización.		X
Prohibir fumar y utilizar dispositivos de llama libre o con chispas.		X
El almacén de <i>stock</i> de pinturas ha de estar aislado de focos de calor y ventilado.		X
Los envases han de estar perfectamente cerrados y el área de trabajo ha de estar en perfecto estado de limpieza y orden.		X

Fuente: elaboración propia.

- Identificación de amenazas

En la tabla LXVII se presentan las amenazas de la empresa.

Tabla LXVII. **Amenazas en la empresa**

Probabilidad de amenazas			
Probabilidad de ocurrencia	Alta	Media	Baja
Pérdida de comunicación		X	
Corte eléctrico		X	
Tormentas			X
Vandalismo			X

Fuente: elaboración propia.

3.4.1.2. Efectos secundarios

Los efectos secundarios que se originan de los accidentes son los siguientes:

- Miedo al lugar de trabajo
- Renunciar al lugar de trabajo
- Lesiones

- Recomendaciones para solucionar efectos secundarios

Para solucionar dichos efectos se plantea lo siguiente:

- Fomentar la seguridad laboral.
- Llevar registros de últimos accidentes ocurridos en la planta.
- Fomentar la estabilidad laboral.
- Llevar registro de rotación de personal.
- Conocer el manejo de los extintores.

- Difundir las rutas de evacuación, así como los sitios de localización de alarmas, extintores.
- Establecer procedimientos de evacuación.
- Capacitación permanente y actualizada a las brigadas.
- Contar con un directorio del personal.

Tener un botiquín de primeros auxilios en el departamento de mantenimiento que contenga lo siguiente:

- Manual de primeros auxilios
- Cojines de gasa
- Vendajes
- Vendajes de la mariposa
- Cinta adhesiva médica
- Cojines de la preparación del alcohol
- Yodo o cojines similares de la preparación
- Ungüento antibiótico
- Mitigadores de dolor
- Pinzas

3.4.2. Capacitaciones en prevención y mitigación

Para realizar las capacitaciones se impartirán los siguientes temas de capacitaciones.

- Equipo de protección personal
- Protección para la cabeza
- Protección auditiva
- Protección ocular

- Protección para las manos
- Protección respiratoria
- Para trabajos en alturas
- Protección para los pies
- Mantenimiento de los equipo de protección personal

3.4.3. Acciones de preparación y difusión

Las acciones a realizar en la etapa de preparación y difusión son:

- Realizar capacitaciones en temas de seguridad industrial.
- Definir claramente las funciones que asuma cada integrante de las distintas brigadas.
- Las alarmas que actualmente indican periodos de receso o almuerzo serán las que darán las alertas de peligro e inmediatamente el inicio de acción de las distintas brigadas.
- Establecer un sistema de información y comunicación entre las brigadas y el resto de integrantes del departamento de mantenimiento.

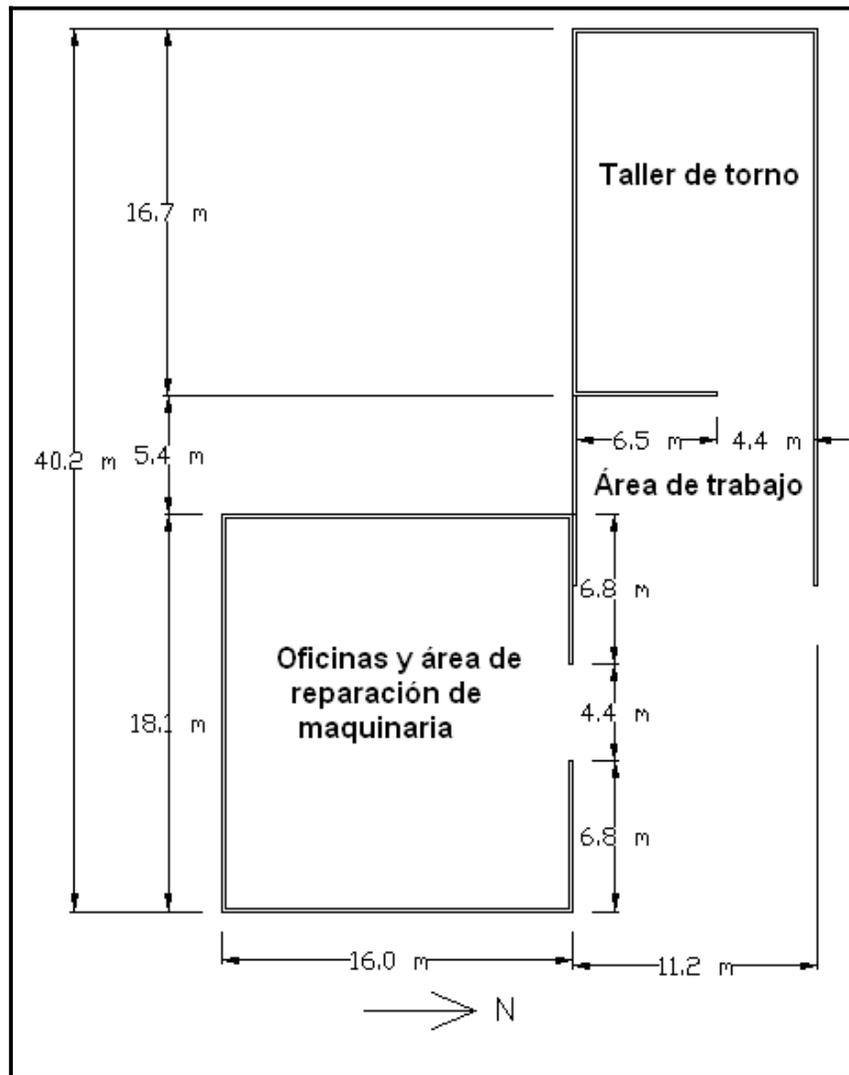
3.4.4. Definición de las instalaciones

En esta sección se ilustrará al departamento de mantenimiento, así también, las rutas de evacuación propuestas y lugares seguros.

3.4.4.1. Planos de las instalaciones del departamento de mantenimiento

En la figura 87 se observan las instalaciones del departamento de mantenimiento.

Figura 87. Planos de las instalaciones



Fuente: elaboración propia.

Figura 88. **Áreas del departamento de mantenimiento**

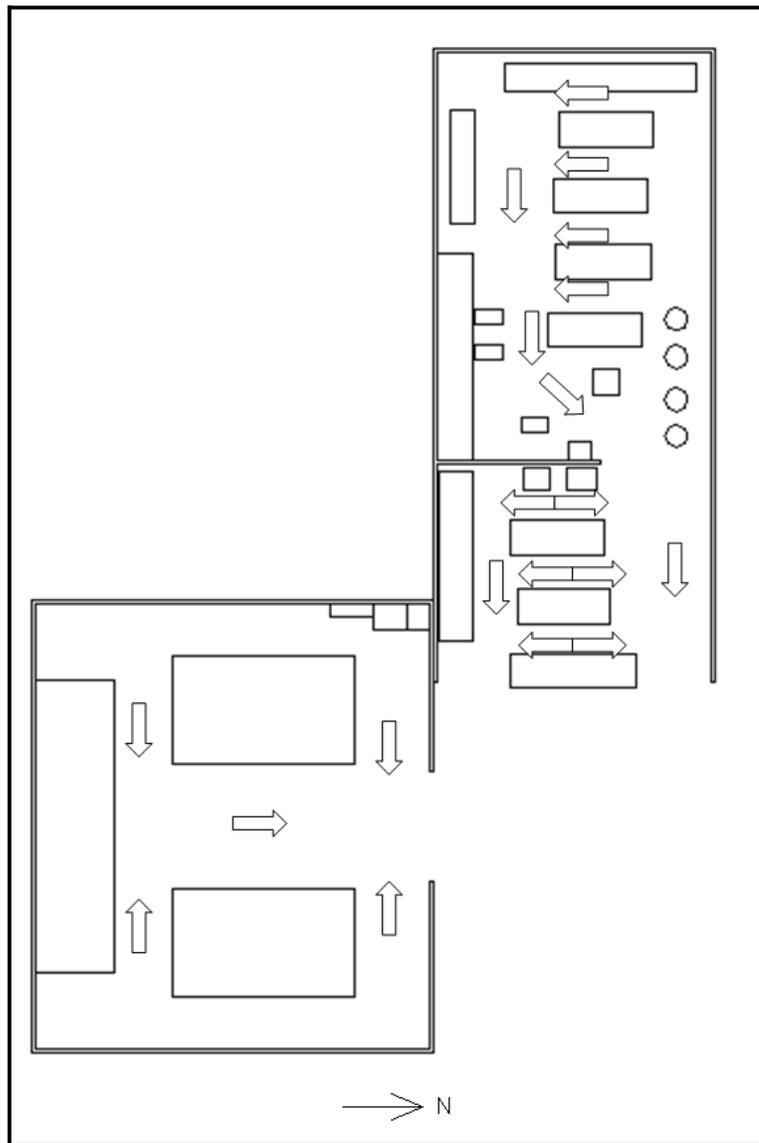


Fuente: elaboración propia.

3.4.4.2. Rutas de evacuación

Se observan las rutas de evacuación en la figura 89.

Figura 89. Rutas de evacuación

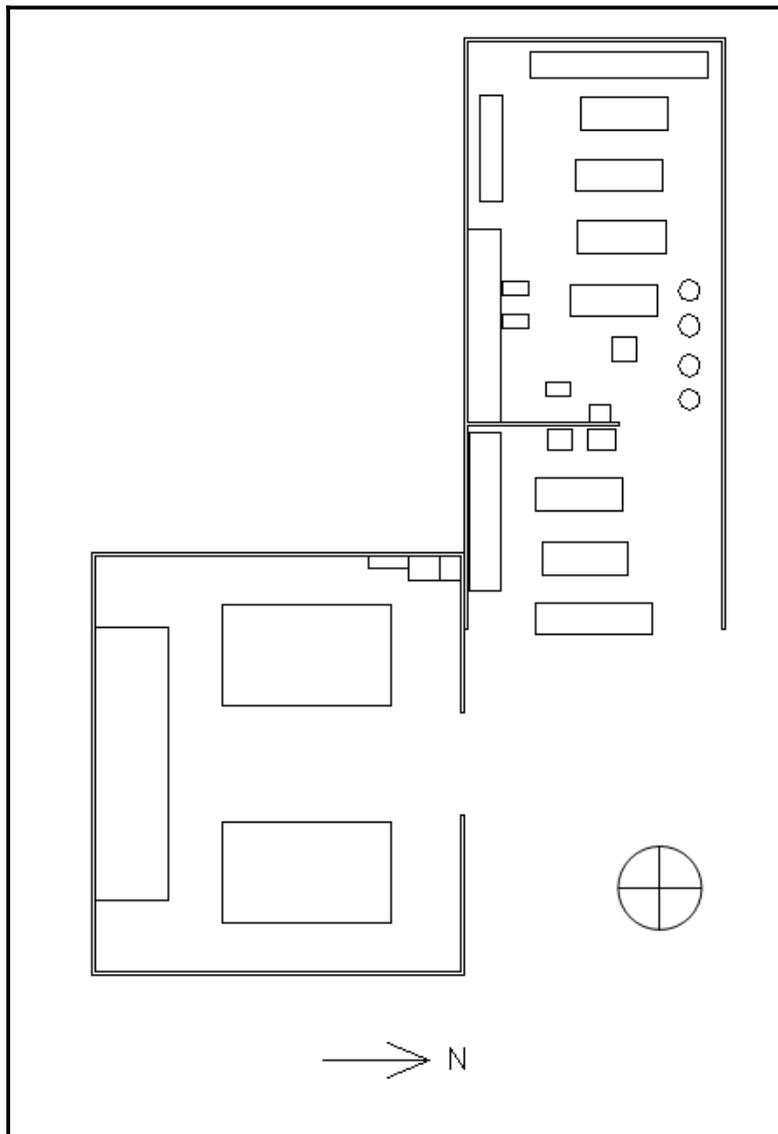


Fuente: elaboración propia.

3.4.4.3. Lugares seguros

Los lugares seguros se muestran en la figura 90.

Figura 90. Lugares seguros



Fuente: elaboración propia.

3.5. Segunda etapa: durante la emergencia

Durante una emergencia las brigadas deben realizar las siguientes acciones:

3.5.1. Acciones de urgencia

En el momento de ocurrir un accidente las brigadas debe seguir las siguientes directrices, para proteger la integridad física de la persona, el plan se activa en el momento de sonar la alarma y el jefe y subjefe de las brigadas proceden a dirigirlas.

- Acciones a tomar por parte de la brigada de primeros auxilios
 - Brindar primeros auxilios a los lesionados.
 - Notificar inmediatamente al jefe y subjefe de las brigadas.
 - Ver junto con la brigada de evacuación la posibilidad de mover al paciente a un centro asistencial si así lo requiere el caso.
 - Ayudar los demás integrantes del departamento de mantenimiento que presenten heridas menores.

- Acciones a tomar por parte de la brigada de evacuación
 - Ayudar a la brigada de primeros auxilios.
 - Ver junto con la brigada de primeros auxilios la posibilidad de mover al paciente a un centro asistencial, si así lo requiere el caso.

- Acciones a tomar por parte de la brigada de riesgos
 - Ayudar a las brigadas de primeros auxilios y de evacuación.
 - Después de solucionada la situación descubrir el origen que provocó la lesión:
 - Proponer soluciones para evitar futuras lesiones similares.
 - Informar al jefe y subjefe de las brigadas y al resto de compañeros de sus soluciones propuestas.

3.5.2. Acciones de diagnóstico

En esta sección se deberán tomar datos a la(s) persona(s) afectada(s), así también, a la(s) máquina(s) implicada(s) si la(s) hubiera, llenando la ficha de diagnóstico que se presenta en la tabla LXVIII.

- Acciones a tomar por parte de la brigada contra riesgos
 - Llenar la ficha de riesgos detectados o ficha de accidentes que se observan en las tablas LXIX y LXX respectivamente, además, proponer acciones para evitar accidentes similares.
 - Entregarle una copia al jefe de las brigadas.
 - Actualizar el registro de accidentes y riesgos detectados.
- Acciones a tomar por parte de la brigada de primeros auxilios y evacuación:
 - Ayudar a los integrantes de la brigada de riesgos con aportar información que consideren pertinente.

- Evacuar a la(s) persona(s) lesionada(s) a un centro asistencial, si la brigada de evacuación junto con el jefe o subjefe de las brigadas lo consideran pertinente.
- Los demás integrantes de la brigada dirigir a las personas por las rutas de evacuación, indicándoles que deben de salir en calma, no correr.

Tabla LXVIII. **Ficha de diagnóstico**

Productos Alimenticios Centroamericanos S. A.		
Ficha de diagnóstico		
Datos de la persona		
Nombre:		
Puesto:		
Información acerca del accidente		
Fecha y hora:		
Lugar:		
Máquina implicada:		
Descripción:		
F: _____		
Coordinador de Brigada de Primeros Auxilios		

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIX. **Ficha de riesgos detectados**

Productos Alimenticios Centroamericanos S. A.				
Ficha de riesgos detectados				
Riesgo	Lugar	Fecha	Hora	Persona afectada
F: _____				
Coordinador de Brigada Contra Riesgos				

Fuente: elaboración propia.

3.5.3. Acciones de socorro

El jefe y subjefe de las brigadas deberán coordinar lo siguiente:

- Llamar a Bomberos Voluntarios o Municipales para el traslado de la persona o personas afectadas a un centro asistencial. El jefe de las brigadas será el que indicará quien acompaña al paciente.
- Avisar a la familia.
- De ser posible contar con un vehículo para permitir la pronta evacuación de las personas afectadas a un centro asistencial.

3.6. Tercera etapa: después de la emergencia

En la tercera etapa del plan de contingencia se realizarán las siguientes acciones.

3.6.1. Acciones de evaluación

Luego de controlada la situación, el jefe de las brigadas debe de asegurarse que las demás brigadas cumplan las siguientes acciones:

3.6.1.1. Recuento de ocupantes del edificio

Para realizar el recuento de personas del edificio se llenará la ficha que se describe en la tabla LXXI; esta tarea la realizará el subjefe de las brigadas.

3.6.1.2. Acciones de reactivación de labores

Luego de realizar las labores de la segunda etapa del plan de contingencia, el jefe y/o el subjefe de las brigadas se encargan de ver que los demás integrantes del departamento reanuden sus actividades normales, indicándoles que al conocer sobre el estado del lesionado o lesionados se les informará.

Luego los integrantes de la brigada contra riesgos recopilen información acerca del accidente ocurrido, llenando la ficha que se describe en la tabla LXXII.

3.6.1.3. Acciones de soporte

Luego de ocurrir un accidente se recomienda realizar una reunión entre los todos los integrantes de las brigadas, esto con el fin de analizar lo ocurrido y realizar las siguientes acciones:

- Realizar propuestas para evitar futuros accidentes similares
- Ejecutar las propuestas
- Mejorar el plan de contingencia

3.6.1.4. Acciones de retroalimentación

Las acciones de retroalimentación permitirán ver si el plan de contingencia esta funcionando bien, por medio de los siguientes parámetros:

- Actualización de la lista de accidentes.
- Ver que los riesgos sean minimizados.

- Actualizar la fecha del último accidente ocurrido.
- También se llevarán registros de indicadores que permitan medir el rendimiento del plan.

3.6.2. Indicadores que permitan medir el rendimiento

Entre los indicadores que se utilizan están:

3.6.2.1. Últimos accidentes ocurridos

En este indicador se llenará la ficha que se presenta en la tabla LXXIII, en la cual se podrá observar las fechas sin accidentes y el número de días sin accidentes.

3.6.2.2. Accidentes por día

En este parámetro se llenará la ficha de la tabla LXXIV, en la cual se indicará la fecha del accidente y el número de personas lesionadas.

Tabla LXXI. **Ficha de recuento de ocupantes**

Productos Alimenticios Centroamericanos S. A.		
Ficha de recuento de ocupantes		
Fecha y hora:		
Nombre:	Asistencia	
Observaciones:		
F: _____		
Subjefe de las Brigadas		

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXII. **Ficha de información acerca del accidente**

Productos Alimenticios Centroamericanos S. A.			
Ficha de información acerca del accidente			
Fecha y hora:			
Persona afectada	Puesto	Estado actual	
Observaciones:			
F: _____			
Jefe de las Brigadas			

Fuente: elaboración propia.

4. FASE DE DOCENCIA: CAPACITACIÓN AL PERSONAL DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

4.1. Planificación de temas a tratar

Como parte del EPS se trabaja el tema de capacitaciones al personal del departamento de mantenimiento, para lo cual se han realizado las siguientes acciones:

4.1.1. Entrevistas con el personal de mantenimiento

Utilización de la herramienta de entrevista con diferentes personas del taller de mantenimiento, para agregar a las capacitaciones los temas que ellas propusieran.

Los resultados de las entrevistas han sido favorables, porque los temas propuestos originalmente han sido bien aceptados, los cuales son:

- Temas de mantenimiento
- Seguridad industrial
- Sistemas de unidades dimensionales

Los temas que sugieren las personas del departamento de mantenimiento han sido los siguientes:

- Cubicación de figuras geométricas presentes en la empresa, las cuales son muy utilizadas para diferentes procesos.

- Conversiones de un sistema de medida a otro.

4.1.2. Recolección de información acerca de los temas a tratar

A continuación se muestra la información recolectada para impartir las capacitaciones:

4.1.2.1. Mantenimiento

En este tema se le mencionó a los integrantes del taller de mantenimiento la definición de mantenimiento y sus divisiones, las cuales son:

- Correctivo
- Preventivo
- Predictivo

Además, se les ilustró una ficha técnica como la descrita en la tabla LXXV.

Tabla LXXV. Ejemplo de una ficha técnica

Ficha técnica					
Equipo:					
Localización:					
Departamento:					
Codificación:					
Marca:		Modelo:			
Serie:		Tipo:			
Motor:		RPM:			
Volt:		Potencia:			
Tipo de lubricante:		Cantidad de lubricante:			
Fabricante:		Proveedor:			
Fecha de pedido:		No. pedido:			
Fecha de instalación:		Costo:			
Repuestos recomendaciones					
	Cantidad	Descripción	Número	Código	

Fuente: MEZA YELA, Ramón Rafael. Desarrollo de un plan de mantenimiento..., p. 46.

Se muestra un ejemplo de una ficha de programación de trabajos en la tabla LXXVI.

Tabla LXXVI. **Ejemplo de ficha de programación de trabajos**

Programación de trabajos							
Área	Ejecuta	D	S	M	T	Se	A
D = Diario S = Semanal M = Mensual T = Trimestral Se = Semestral A = Anual							

Fuente: elaboración propia.

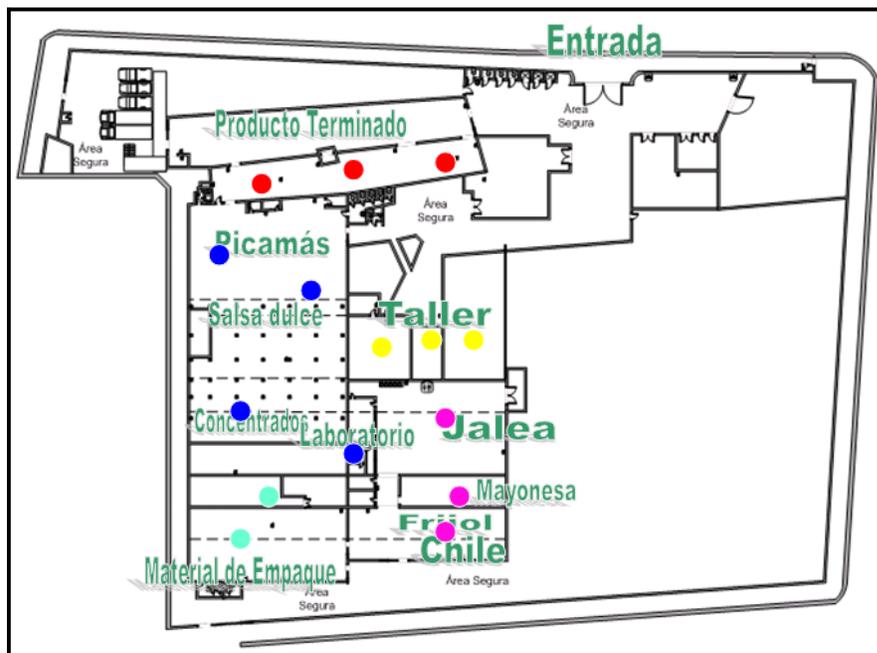
4.1.2.2. Rutas de evacuación

La rutas de evacuación son previamente establecidas por las autoridades para evacuar a las personas en caso de un siniestro en un determinado lugar. Por lo que se les recomendó lo siguiente:

- Guardar la calma
- Seguir las rutas de evacuación
- No correr

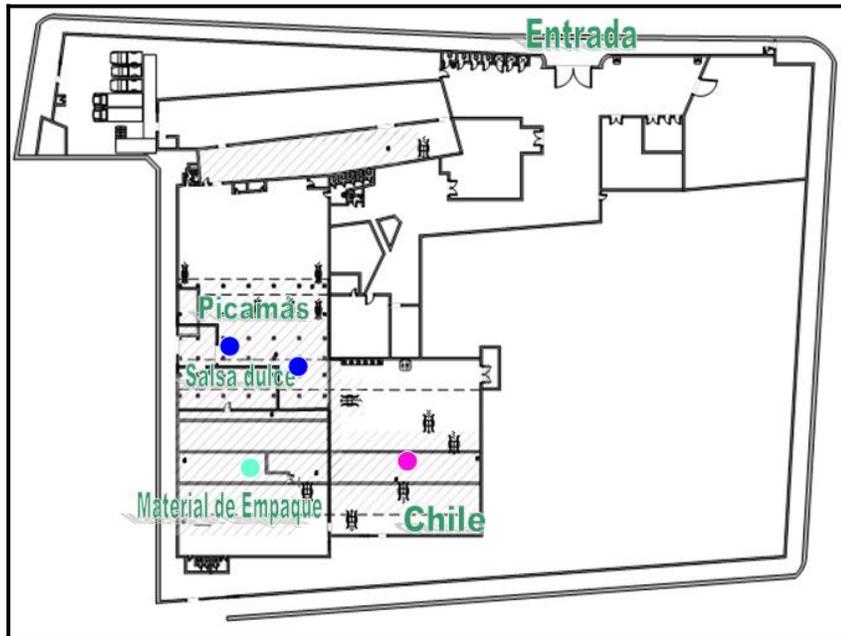
Se muestran las figuras de la planta en su primer y segundo nivel en las figuras 91 y 92 respectivamente.

Figura 91. Primer nivel



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

Figura 92. Segundo nivel



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

4.1.2.3. Equipo de protección personal

En este tema se les indicó los cuidados y equipos necesarios para realizar las diversas actividades dentro de la empresa con mayor seguridad e higiene.

4.1.2.4. Los sistemas de unidades dimensionales

Otro de los temas impartidos fue el de sistemas de unidades dimensionales, el cual por la naturaleza del trabajo del taller de mantenimiento están continuamente utilizando diversos sistemas dimensionales, como lo son: el sistema ingles y el sistema internacional, por lo tanto en la tabla LXXVII se recopilan las unidades de medida de éstos.

Tabla LXXVII. Principales unidades de medida en el sistema internacional e inglés

	Sistema Internacional	Sistema Inglés
Longitud	Metro	Pulgada
Tiempo	Segundo	Segundo
Masa	Kilogramo	Slugs
Fuerza	Newton	Libra fuerza

Fuente: PIOVAN, Marcelo Tulio. <http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/elementosdemquinas/apendice-01.pdf>. Consulta: julio de 2011.

En la tabla LXXVIII se observan los múltiplos y submúltiplos, que, comúnmente son utilizados.

Tabla LXXVIII. Múltiplos y submúltiplos

Múltiplo	Orden	Nombre	Símbolo	Submúltiplo	Orden	Nombre	Símbolo
1,000,000,000,000	10^{12}	tera	T	0.1	10^{-1}	deci	d
1,000,000,000	10^9	giga	G	0.01	10^{-2}	centi	c
1,000,000	10^6	mega	M	0.001	10^{-3}	mili	m
1,000	10^3	kilo	k	0.000 001	10^{-6}	micro	μ
100	10^2	hecto	h	0.000 000 001	10^{-9}	nano	n
10	10^1	deca	da	0.000 000 000 001	10^{-12}	pico	p

Fuente: PIOVAN, Marcelo Tulio. <http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/elementosdemquinas/apendice-01.pdf>. Consulta: julio de 2011.

En la tabla LXXIX se resumen las conversiones comunes de un sistema a otro.

Tabla LXXIX. Conversiones de unidades

Longitud				
2,54	cm	=	1	in
1	m	=	39,370 1	in
1	m	=	3,280 8	Pie
1	m	=	1,093 6	Yarda
1	Km	=	0,621 3	Millas
Volumen				
3,78	Litro	=	1	Galón
1	m ³	=	264,1	Galones
1	m ³	=	35,314 7	Pie ³
1	Litro	=	61,02	in ³
1	m ³	=	1 000 000	cm ³
1	m ³	=	1 000	Litro
1	Litro	=	0,264 1	Galones
Presión				
100 000	Pa	=	1	bar
14,503 26	Psi	=	1	bar
1	Pa	=	0,000 145 04	Psi
6 895	Pa	=	1	Psi
Masa				
1	Kg	=	2,204 6	lb _m
1	Slug	=	14,59	Kg
Fuerza				
1	N	=	0,224 8	lb _f

Continuación de la tabla LXXIX.

4,448	N	=	1	lbf
Potencia				
1	Kw	=	1,341 0	HP
1	Kw	=	3 413	BTU/hr
Caudal				
1	M ³ /s	=	0.028 32	Pie ³ /s
1	M ³ /s	=	158 50	GPM
0.063 08	l/s		1	GPM
Temperatura				
Grado Celsius (°C)			$^{\circ}\text{C} = \frac{(^{\circ}\text{F} - 32)}{1.8}$	
Grado Fahrenheit (°F)			$^{\circ}\text{F} = 1.8 * ^{\circ}\text{C} + 32$	

Fuente: elaboración propia.

Donde

°C = grados Celsius

°F = grados Fahrenheit

En la tabla LXXX se tabulan los grados Celsius y Fahrenheit y sus equivalencias entres sí.

Tabla LXXX. **Equivalencias entre grados Celsius y Fahrenheit**

°C	°F		°F	°C
0	32		0	-17,78
10	50		10	-12,22
20	68		20	-6,67
30	86		32	0
40	104		40	4,44
50	122		50	10
60	140		60	15,56
70	158		70	21,11
80	176		80	26,67
90	194		90	32,22
100	212		100	37,78

Fuente: elaboración propia.

4.1.2.5. **Cubicación**

En este tema se desarrollarán los cálculos necesarios para hallar el volumen de recipientes comunes en la planta, los cuales son útiles para los integrantes del departamento de mantenimiento. Siempre haciendo la observación que las dimensionales deben estar en el mismo sistema dimensional. Los recipientes a exponer son los siguientes:

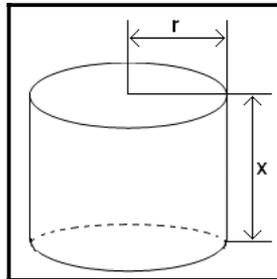
- Cilindro: en la figura 93 se observa un cilindro donde x es la altura y r es el radio. El volumen de este tipo de recipiente se calcula con la siguiente fórmula.

$$V = \pi * r^2 * x$$

Donde:

V = volumen
 π = pi; 3,1416
r = radio
x = altura

Figura 93. **Cilindro**



Fuente: elaboración propia.

- Ejemplo: un cilindro de 50 cm de radio y 1,5 m de altura se desea calcular su volumen en litros.

Datos

Fórmula

V = Se desea conocer

$$V = \pi * r^2 * x$$

π = 3,1416

r = 50 cm

X = 1,5 m

Antes de aplicar la fórmula se trasladan las variables a un mismo sistema de medida, en este caso los centímetros a su equivalente en metros.

$$r = 50 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0.5 \text{ m}$$

Aplicar la fórmula para encontrar el volumen:

$$V = 3,1416 * (0,5 \text{ m})^2 * 1,5 \text{ m} = 1,1781 \text{ m}^3 = 1,1781 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 1 178,1 \text{ L}$$

- Cono y cilindro: la figura 94 está formada por un cilindro y un cono; para encontrar el volumen se detallarán las dimensionales de la siguiente manera r es el radio, x es la altura el cilindro y h es la altura del cono. El volumen de este tipo de recipiente se calcula con la siguiente fórmula.

$$V_{\text{cilindro}} = \pi * r^2 * x = \frac{1}{3} \pi * r^2 * h = \pi * r^2 * \left(x + \frac{1}{3} h \right)$$

Donde:

V = volumen

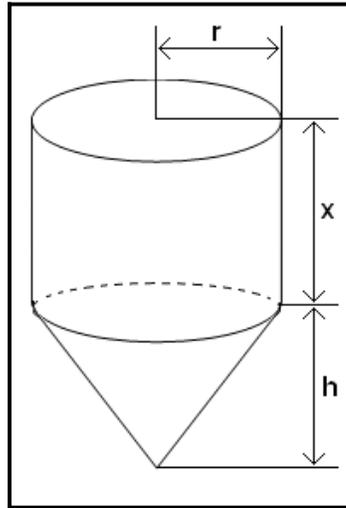
π = pi; 3,1416

r = radio

x = altura del cilindro

h = altura del cono

Figura 94. **Cono y cilindro**



Fuente: elaboración propia.

- Ejemplo: un cilindro de 0,50 m de radio, 1,5 m de altura y también se requiere que tenga un cono con una altura de 0,4 m. Se desea calcular su volumen en litros.

Datos

Fórmula

V = Se desea conocer

$\pi = 3,1416$

r = 0,5 m

x = 1,5 m

h = 0,4 m

$$V_{\text{total}} = \pi * r^2 * \left(x + \frac{1}{3}h \right)$$

Aplicar la fórmula para encontrar el volumen:

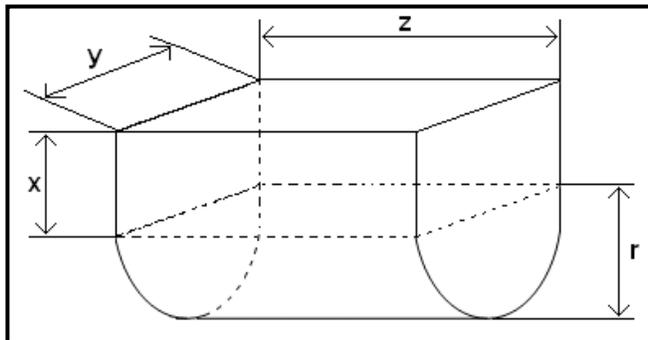
$$V_{\text{total}} = 3,1416 * (0,5 \text{ m})^2 * \left(1,5 \text{ m} + \frac{1}{3} * (0,4 \text{ m}) \right) = 3,1416 * (0,5 \text{ m})^2 * (1,5 \text{ m} + 0,13 \text{ m})$$

$$V_{\text{total}} = 3,1416 * (0,5 \text{ m})^2 * (1,63 \text{ m}) = 1,2828 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 1282,8 \text{ L}$$

- Semicilindro y paralelepípedo: la figura 95 está compuesta de un semicilindro y un paralelepípedo; para encontrar el volumen primero se calcula el volumen de una figura y luego de la otra y finalmente sumar dichos volúmenes.

Del paralelepípedo las variables se detallarán de la siguiente manera: x es la altura, y es el ancho y z es el largo. Del semicírculo r es su radio y z es su longitud.

Figura 95. **Semicilindro y paralelepípedo**



Fuente: elaboración propia.

El volumen de este tipo de recipiente se calcula con la siguiente fórmula.

Donde

Fórmula

V = volumen

$$V_{\text{paralelepipedo}} = x * y * z$$

x = altura

y = ancho

$$V_{\text{semicilindro}} = \frac{\pi * r^2 * z}{2}$$

z = largo

π = pi; 3,1416

r = radio

$$V_{\text{total}} = x * y * z + \frac{\pi * r^2 * z}{2}$$

- Ejemplo: un paralelepípedo tiene las siguientes características: 7 in de altura, 12 in de ancho y 18 in es el largo, y también se desea que tenga un semicilindro.

El radio por la configuración de este objeto, es la mitad del ancho, en este caso 6 in.

Datos

Fórmula

V = se desea conocer

$$V_{\text{paralelepipedo}} = 7 \text{ in} * 12 \text{ in} * 18 \text{ in} = 1\,512 \text{ in}^3$$

x = 7 in

y = 12 in

$$V_{\text{semicilindro}} = \frac{\pi * (6 \text{ in})^2 * 18 \text{ in}}{2} = 1\,017,87 \text{ in}^3$$

z = 18 in

π = 3,1416

$$V_{\text{total}} = 1\,512 \text{ in}^3 + 1\,017,87 \text{ in}^3$$

r = 6 in

$$V_{\text{total}} = 2\,529,87 \text{ in}^3 * \frac{1 \text{ L}}{61,02 \text{ in}^3} = 41,46 \text{ L}$$

En la tabla LXXXI se resumen las fórmulas a utilizar para encontrar los datos que sean requeridos, para los objetos antes descritos.

Tabla LXXXI. Resumen de fórmulas

Resumen de fórmulas		
<u>Cilindro</u>		
Encontrar	Conociendo	Fórmula
V	r, x	$V = \pi * r^2 * x$
x	V, r	$x = \frac{V}{\pi * r^2}$
r	V, x	$r = \sqrt{\frac{V}{\pi * x}}$
<u>Cilindro y cono</u>		
Encontrar	Conociendo	Fórmula
V	r, x, h	$V_{total} = \pi * r^2 * \left(x + \frac{1}{3}h\right)$
x	V, r, h	$x = \frac{3V_{total} - \pi * h * r^2}{3\pi * r^2}$
r	V, x, h	$r = \sqrt{\frac{3V_{total}}{\pi * h + 3 * x * \pi}}$
h	V, x, r	$h = \frac{3V_{total} - 3 * x * \pi * r^2}{\pi * r^2}$
<u>Semicírculo y rectángulo</u>		
Encontrar	Conociendo	Fórmula
V	x, r, y, z	$V_{total} = x * y * z + \frac{\pi * r^2 * z}{2}$

Continuación de la tabla LXXXI

X	V, r, y, z	$x = \frac{2V_{\text{total}} - \pi * r^2 * z}{2 * y * z}$
Y	V, x, z	$y = \frac{-(x * z) \pm \sqrt{(x * z)^2 + \left(\frac{\pi * z}{2}\right)(V_{\text{total}})}}{\left(\frac{\pi * z}{4}\right)}$ $r = \frac{y}{2}$
Z	V, x, r, y	$z = \frac{2V_{\text{total}}}{2 * x * y + \pi * r^2}$

Fuente: elaboración propia.

4.2. Planificación de las capacitaciones

El orden de los temas a impartir en las capacitaciones se muestra en la tabla LXXXII.

Tabla LXXXII. **Orden de los temas de las capacitaciones**

Tema	Tiempo
Mantenimiento	15 min.
Protección personal	15 min.
Rutas de evacuación	15 min.
Conversión de unidades	30 min.
Cubicación	30 min.
Tiempo total	105 min.
	1 hora con 45 minutos

Fuente: elaboración propia.

Para la realización de la planificación de las capacitaciones se han propuesto las siguientes actividades:

4.2.1. Realización de las diapositivas a utilizar y material de apoyo

Realización de diapositivas, las cuales se utilizaron en las capacitaciones para lograr de mejor manera captar la atención de los participantes.

4.2.2. Determinación de los días a realizar las capacitaciones

Para la realización de las capacitaciones se tiene la siguiente calendarización.

Tabla LXXXIII. **Calendarización de las capacitaciones**

JULIO						
D	L	M	Mi	J	V	S
24	25	26	<u>27</u>	<u>28</u>	29	30
31						
AGOSTO						
D	L	M	Mi	J	V	S
	1	<u>2</u>	3	<u>4</u>	5	6
7	8	<u>9</u>	10	<u>11</u>	12	13
14	15	<u>16</u>	17	18	19	20

Fuente: elaboración propia.

En la tabla LXXXIV se presentan los grupos de las capacitaciones a realizar en el departamento de mantenimiento.

Tabla LXXXIV. **Grupos de las capacitaciones**

Grupo	Cantidad	Fecha	Hora
1	6	27/07/11	15:00-17:00
2	7	28/07/11	13:00-15:00
3	6	02/08/11	15:00-17:00
4	5	04/08/11	15:00-17:00
5	6	09/08/11	15:00-17:00
6	5	11/08/11	15:00-17:00
7	6	16/08/11	15:00-17:00
Total	41		

Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Capacitación por grupos a los integrantes del taller de mantenimiento

En las tablas LXXXV, LXXXVI, LXXXVII y LXXXVIII, se especifican a las personas que integraran los diferentes grupos a capacitar.

Tabla LXXXV. **Grupo uno y dos de las capacitaciones**

Grupo 1			Grupo 2		
No.	Nombre	Puesto	No.	Nombre	Puesto
1	Byron Vásquez	Tornero	1	Luís Ramírez	Tornero
2	Alejandro Cambran	Electricista	2	Byron Pérez	Electricista
3	Mercedes Tije	Soldador	3	Julio Bian	Mecánico
4	Héctor Garay	Ayudante	4	Luís Alfredo Guil	Soldador
5	Ángel Arévalo	Ayudante	5	Aroldo Gutiérrez	Ayudante
6	Amalco Najera	Jefe de taller	6	Hugo Bran	Subjefe de taller
			7	Estuardo Camey	Mecánico

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXVI. **Grupo tres y cuatro de las capacitaciones**

Grupo 3			Grupo 4		
No.	Nombre	Puesto	No.	Nombre	Puesto
1	Adán Ismatul	Tornero	1	Rigoberto Girón	Tornero
2	Antonio Pérez	Electricista	2	Luís Carrillo	Electricista
3	Edy Santos	Mecánico	3	Edgar Urbina	Mecánico
4	Rafael Orantes	Soldador	4	Paulino Monroy	Soldador
5	Edwar Tije	Ayudante	5	Marco A. Herrera	Ayudante
6	Miguel Pineda	Tuberías			

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXVII. **Grupo cinco y seis de las capacitaciones**

Grupo 5			Grupo 6		
No.	Nombre	Puesto	No.	Nombre	Puesto
1	Eliseo Rodríguez	Mensajero	1	Miguel Mendoza	Calderas
2	Esteban D La Rosa	Electricista	2	Odilio Franco	Bodega
3	Félix Ramírez	Mecánico	3	Rony Ramírez	Mecánico
4	Leonel Sandoval	Mecánico	4	Edy Rodríguez	Soldador
5	Elmer Chavarria	Ayudante	5	Bayron Chilin	Ayudante
			6	Byron Dueñas	Refrigeración

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXVIII. **Grupo siete de las capacitaciones**

Grupo 7		
No.	Nombre	Puesto
1	Luis Valdez	Jefe de Taller
2	Luis Guevara	Mecánico
3	Edvin García	Soldador Mecánico
4	Luis Sánchez Jolon	Soldador Mecánico
5	Carlos Rubi	Mecánico
6	Eddy Vargas	Mecánico

Fuente: elaboración propia.

4.3. **Resultados de la capacitación del personal**

En cada una de las capacitaciones se ha hecho una encuesta para ver el grado de aceptación de los integrantes del departamento de mantenimiento. Para este fin se ha realizado la encuesta que se ilustra en la figura 96.

Figura 96. Encuesta de la capacitación

1. ¿Cómo le ha parecido la capacitación?

Buena Regular Puede mejorar

2. ¿Qué tema impartido le gusto más?

Mantenimiento	<input type="checkbox"/>
Protección personal	<input type="checkbox"/>
Rutas de evacuación	<input type="checkbox"/>
Conversión de unidades	<input type="checkbox"/>
Cubicación	<input type="checkbox"/>

3. ¿Qué tipos de mantenimiento conoce?

4. ¿Qué unidades de medida usa habitualmente?

5. ¿Cuál es la función de la cubicación de recipientes?

Fuente: elaboración propia.

A continuación se muestran las fotos de la primera capacitación:

Figura 97. Foto uno del grupo uno



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

Figura 98. Foto dos del grupo uno



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

Figura 99. **Foto tres del grupo uno**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

A continuación se muestran las fotos de la segunda capacitación:

Figura 100. **Foto uno del grupo dos**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

Figura 101. Foto dos del grupo dos



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

A continuación se muestran las fotos de la tercera capacitación:

Figura 102. Foto uno del grupo tres



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

Figura 103. **Foto dos del grupo tres**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

A continuación se muestran las fotos de la cuarta capacitación:

Figura 104. **Foto uno del grupo cuatro**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

Figura 105. **Foto dos del grupo cuatro**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

A continuación se muestran las fotos de la quinta capacitación:

Figura 106. **Foto uno del grupo cinco**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

Figura 107. Foto dos del grupo cinco



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

A continuación se muestran las fotos de la sexta capacitación:

Figura 108. Foto uno del grupo seis



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

Figura 109. **Foto dos del grupo seis**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

A continuación se muestran las fotos de la séptima capacitación:

Figura 110. **Foto uno del grupo siete**



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

Figura 111. Foto dos del grupo siete



Fuente: Productos Alimenticios Centroamericanos, S. A.

4.3.1. Resultado de la encuesta de la capacitación

A continuación en la figura 112, se presentan los resultados de la encuesta realizada en las diversas capacitaciones:

Figura 112. Resultados de la encuesta

1. ¿Cómo le ha parecido la capacitación?	
• Buena	35
• Regular	4
• Puede mejorar	6

Continuación de la figura 112.

2. ¿Qué tema impartido le gusto más?								
•	Mantenimiento	18						
•	Protección personal	8						
•	Rutas de evacuación	7						
•	Conversión de unidades	18						
•	Cubicación	22						
3. ¿Qué tipos de mantenimiento conoce?								
•	Preventivo	34						
•	Correctivo	37						
•	Predictivo	21						
4. ¿Qué unidades de medida usa habitualmente?								
•	Galones	1	•	Galones	1	•	Milímetros	5
•	Libras	1	•	Kilogramos	1	•	Ingles	5
•	Kilogramos	1	•	Métrico	2	•	Si	6
•	Grados	1	•	Fahrenheit	2	•	Centímetros	14
•	Psi	1	•	Pie	2	•	Metro	25
•	Lb	1	•	Voltaje	2	•	Pulgadas	28
•	Amperio	1	•	Litros	3			
•	Ohmios	1	•	Centígrados	4			

Continuación de la figura 112.

Nota: Debido a que existen varios resultados, se ha decidido formar un grupo llamado otros donde se incluyen los elementos que se repiten una o dos veces.

• Pulgadas	28	• Sistema Ingles	5
• Metro	25	• Centígrados	4
• Centímetros	14	• Litros	3
• SI	6	• Otros	18
• Milímetros	5		

5. ¿Cuál es la función de la cubicación de recipientes?

• Conocer el volumen	17	• Pesos y medidas	2	• Fabricación de tanques	1
• Cálculo de recipientes	5	• Conocer cantidades	1	• Medir liquido	1
• Litro	4	• Cilindros	1	• Blanco	1

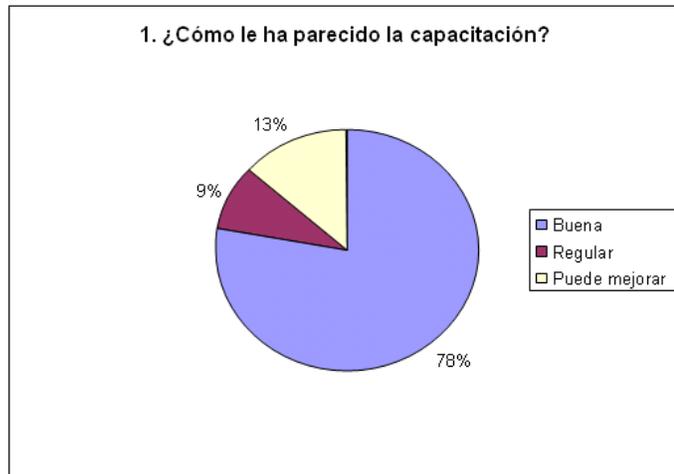
Nota: Como existen varios resultados, se ha formado un grupo llamado otros, donde se incluyen los elementos que se repiten una vez.

• Conocer el volumen	17	• Pesos y medidas	2
• Cálculo de recipientes	5	• Otros	4
• Litro	4	• Blanco	1

Fuente: elaboración propia.

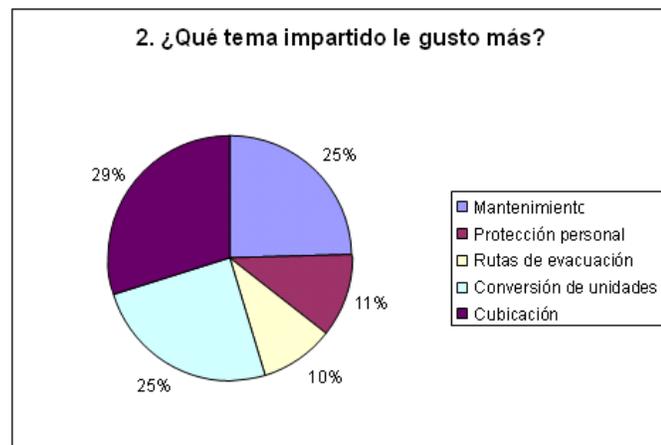
A continuación se ilustran en la figuras 113, 114, 115, 116 y 117, las gráficas de las preguntas de la encuesta.

Figura 113. **Resultados pregunta uno**



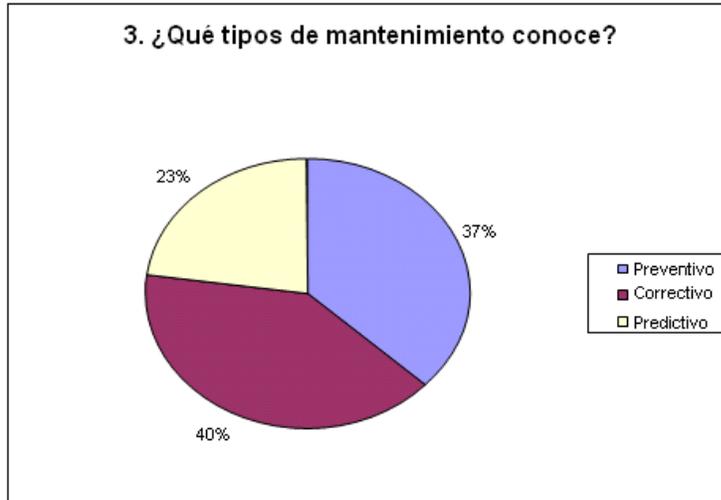
Fuente: elaboración propia.

Figura 114. **Resultados pregunta dos**



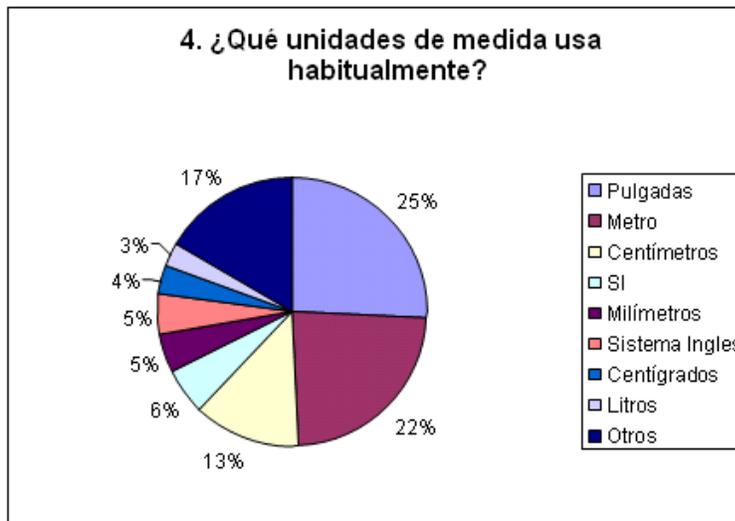
Fuente: elaboración propia.

Figura 115. **Resultados pregunta tres**



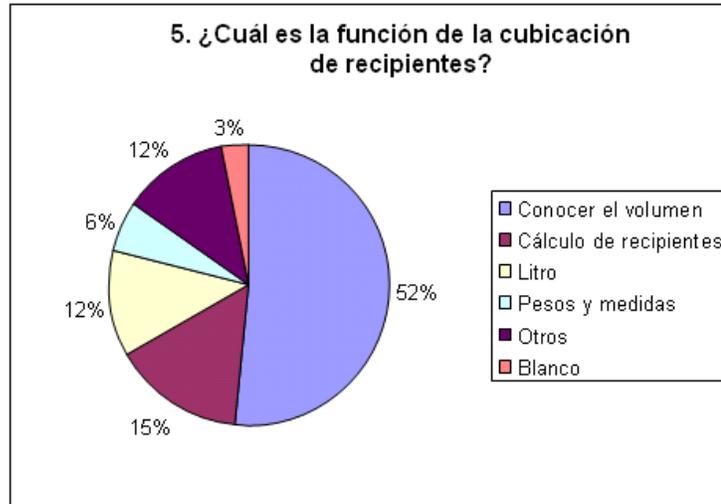
Fuente: elaboración propia.

Figura 116. **Resultados pregunta cuatro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 117. Resultados pregunta cinco



Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Análisis de los resultados de las capacitaciones

- El 78% de las personas les ha parecido bien las capacitaciones.
- Los temas de cubicación, conversión de unidades y mantenimiento han sido los de mayor agrado entre los integrantes del departamento.
- El mantenimiento correctivo es el más conocido por los integrantes del taller de mantenimiento.
- La pulgada con un 25% es la unidad de medida más utilizada.
- La mayoría de los integrantes del taller de mantenimiento han mencionado correctamente que la cubicación les ha servido para aprender a calcular el volumen de recipientes.

CONCLUSIONES

1. Diseño de un colector de hollín tipo ciclón, con el cual se pueden trabajar dos calderas simultáneamente, de la familia de alta captación de tipo Stairmand, permitiendo reducir el tiempo de limpieza del mismo al no estar sustrayéndole el hollín continuamente.
2. Al aplicar el estudio de las cartas de Ringelman, se determinó la densidad aparente visual para cada una de las chimeneas, dando los siguientes resultados: 31,50%, 17,33% y 19,67% para las calderas de 500 BHP, 600 BHP y 750 BHP respectivamente.
3. El diseño de un colector tipo ciclón requiere del conocimiento de los siguientes datos del aire: caudal ($9,74 \text{ m}^3/\text{s}$), presión total (0,0743 Kpa), densidad ($0,8345 \text{ Kg}/\text{m}^3$), viscosidad dinámica ($2,4 \cdot 10^{-5} \text{ Kg}/[\text{s m}]$), temperatura ($150 \text{ }^\circ\text{C}$), concentración de partículas de hollín: ($5,9 \cdot 10^{-14} \text{ g}/\text{cm}^3$) y del hollín: densidad ($258,3 \text{ Kg}/\text{m}^3$).
4. Las características técnicas del colector de hollín son: caudal ($9,74 \text{ m}^3/\text{s}$), velocidad de entrada ($15,2 \text{ m}/\text{s}$), diámetro mayor ($1,51 \text{ m}$), relación entre velocidad de entrada y velocidad de saltación (1,27), eficiencia total (81,65%), caída de presión ($771,21 \text{ Pa}$), altura total ($10,20 \text{ m}$).
5. El presupuesto de materiales a utilizar en la elaboración del colector tipo ciclón diseñado para dos calderas es de Q. 48 240,50.

6. La influencia en el diseño del ciclón que ejerce la variación del caudal de entrada de los gases de combustión es directamente proporcional a la eficiencia.
7. Las brigadas a formar en el plan de contingencia del departamento de mantenimiento son: brigada contra riesgos, primeros auxilios y de evacuación.
8. Los temas a impartir en las capacitaciones son: sistemas de unidades, seguridad industrial, cubicación de recipientes, mantenimiento.

RECOMENDACIONES

1. La misión es el propósito o razón de ser de una empresa; su planteamiento suele responder preguntas básicas como: ¿en qué negocios se participa?, ¿quiénes somos? y ¿cuál es nuestra intención?, por lo tanto se aconseja replantear la misión de la empresa.
2. A los operadores de las calderas de la empresa, con la ayuda del jefe de proyectos, se les exhorta la ejecución de las cartas de Ringelman de forma periódica en las chimeneas de las calderas, lo que permitirá conocer como está la relación aire-combustible de la combustión y realizar calibraciones si es necesario.
3. En la construcción del ciclón y de la tubería que lo conecta con las chimeneas de las calderas al jefe y subjefe del departamento de mantenimiento, consultar los diagramas en los cuales se aprecian las medidas respectivas de cada uno, para lograr la mayor exactitud posible de estas y asegurarse el correcto funcionamiento de los mismos.
4. En la implementación de un nuevo sistema o proceso siempre existe en alguna medida la resistencia al cambio, por lo tanto, al iniciar la aplicación del plan de contingencia, el jefe del departamento de mantenimiento y el jefe de proyectos, procuren mantener una buena comunicación entre los grupos de trabajo.

5. Dar material de apoyo al grupo a capacitar. El subjefe del departamento de mantenimiento debe contar con material de apoyo, para mejorar la realización de éstas, reduce el tiempo, para impartir la teoría y permite explicar dudas de una mejor manera.

6. Al jefe del departamento de mantenimiento incluir en el ciclón diseñado para dos calderas los siguientes elementos: visor, dampers, ventilador de succión de gases para mejorar su desempeño, además que la altura de la chimenea del ciclón sea igual o mayor a la propuesta.

7. A los operarios del área de calderas; colgar el tubo de Prandtl de forma vertical, para su correcto almacenamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Air Properties* [en línea]. <http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html>. [Consulta: 4 de mayo de 2011].
2. ARREAZA NAVAS, Jaenz Orlando. *Modelo de un colector de hollín para la reducción de la contaminación ambiental, producida por una caldera de combustible de bagazo de caña*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 101 p.
3. CENGEL, Yanus A; BOLES, Michael A. *Termodinámica*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2003. 828 p.
4. CHACÓN FLORES, Humberto Alejandro. *Diseño teórico de un sistema para la limpieza y purificación de la descarga de gases de combustión, producida por la quema de aceite combustible residual número seis, en una red de calderas*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1999. 70 p.
5. CHÁVEZ ORDÓÑEZ, Lissette Anabella. *Funcionamiento de un plan de contingencia, en caso de emergencias por desastres naturales, para la red de carreteras del país*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2001. 105 p.

6. ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos Alberto. *Diseño óptimo de ciclones* [en línea]. Medellín, Colombia. <<http://www.ingenieroambiental.com/4014/ciclones.pdf>>. [Consulta: 10 de junio de 2011].
7. *Elementos Auxiliares de Caldera XIII* [en línea]. <<http://libros.redsauce.net/CentralesTermicas/PDFs/23CT.pdf>>. [Consulta: 20 de junio de 2011].
8. ELÍAS MARROQUÍN, Luis Alberto. *Modelo de simulación de una caldera de vapor*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1985. 116 p.
9. LÓPEZ ESCOBAR, Rafael Bernal. *Manual para instalaciones de vapor y aire*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1986. 165 p.
10. LÓPEZ RAMÍREZ, Mario Amilcar. *Montaje, instalación, mantenimiento y principios de operación de una caldera pirotubular de 600 BHP, para la generación y suministro de vapor a una fábrica dedicada a la producción de sopas instantáneas*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 157 p.
11. MEZA YELA, Ramón Rafael. *Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo aplicado a la industria de fibro-cemento*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1980. 130 p.

12. *Modelización gaussiana para la estimación de niveles de inmisión de fuentes puntuales* [en línea]. <<http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Atmosfera/DispersionContaminantes.htm>>. [Consulta: 15 de mayo de 2011].
13. MOLINA, José. *Mantenimiento y seguridad industrial* [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>>. [Consulta: 14 de julio de 2011].
14. MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos*. 6a ed. México: Pearson, 2006. 628 p.
15. NASA Surface Meteorology and Solar Energy: RETScreen Data [en línea]. <<http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets@nrcan.gc.ca&step=1&lat=14.48361&lon=-90.57166&submit=Submit>>. [Consulta: 16 de mayo de 2011].
16. PAZ BAUTISTA, José Eduardo. *Efecto de la gallinaza y lirio acuático en el rendimiento de pepino (Cucumis Sativus L.) San Miguel Petapa, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 42 p.
17. PIOVAN, Marcelo Tulio. *Apéndice 1 Sistemas de unidades y sus conversiones* [en línea]. <<http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/elementosdemaquinas/apendice-01.pdf>>. [Consulta: 15 de julio de 2011].

18. VARGAS GERMÁN, Julio Roberto. *Prevención de riesgos y plan de contingencia contra inundaciones en la aldea Gallucer, municipio de los Amates, departamento de Izabal*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003. 107 p.

19. WARK, Kenneth; WARNER, Cecil. *Contaminación del aire: origen y control*. México: Limusa, 1990. 650 p.

APÉNDICE

Hoja de toma de datos de las cartas de ringelman

No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.	No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.
1					16				
2					17				
3					18				
4					19				
5					20				
6					21				
7					22				
8					23				
9					24				
10					25				
11					26				
12					27				
13					28				
14					29				
15					30				
No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.	No.	15 Seg.	30 Seg.	45 Seg.	60 Seg.
31					46				
32					47				
33					48				
34					49				
35					50				
36					51				
37					52				
38					53				
39					54				
40					55				
41					56				
42					57				
43					58				
44					59				
45					60				

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

1. Hoja uno del estudio realizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-
2. Hoja dos del estudio realizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-
3. Propiedades del aire en función de la temperatura
4. Propiedades del agua en función de la temperatura
5. Agua saturada, tabla de presiones
6. Agua saturada, tabla de temperaturas

Anexo 1. Hoja uno del estudio realizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 17072

O.T. No. 28404
No. Informe Lab. 37-11

Interesado: Willy Leonel Valiente López
Muestra: 1 Muestra de Hollin
Fecha: Guatemala 8 de junio de 2011.

a) Análisis de granulometría

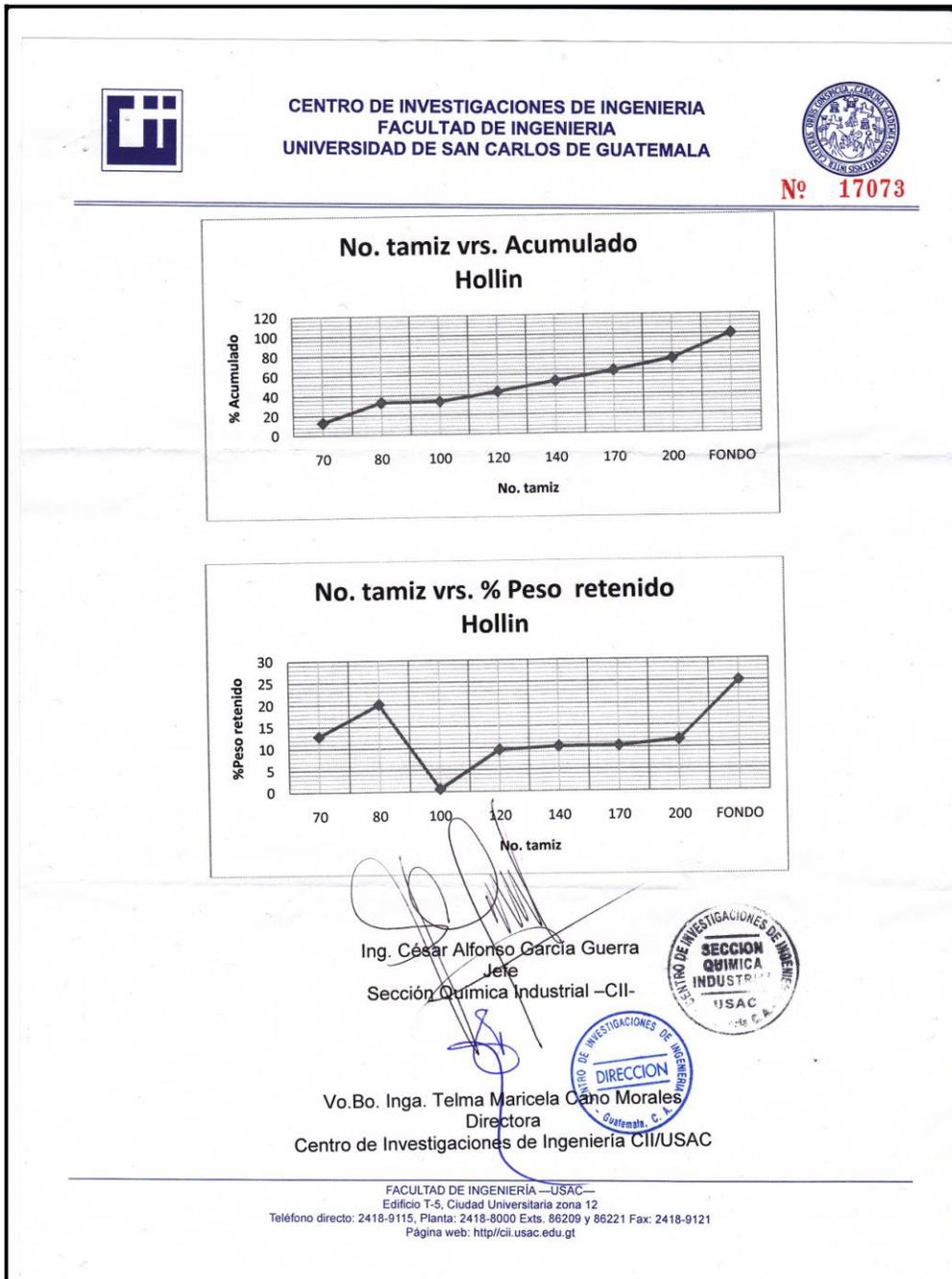
No. Tamiz	% Acumulado	% Peso retenido
70 (210 µm)	12.797	12.797
80 (177 µm)	32.821	20.024
100 (149 µm)	33.407	0.586
120 (125 µm)	42.916	9.509
140 (105 µm)	53.119	10.203
170 (88 µm)	63.387	10.268
200 (74 µm)	75.008	11.621
FONDO	100	24.992

*Muestra proporcionada por el interesado

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 2. Hoja dos del estudio realizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 3. Propiedades del aire en función de la temperatura

Temperature - <i>t</i> - (°C)	Density - ρ - (kg/m ³)	Specific heat capacity - c_p - (kJ/kg.K)	Thermal conductivity - <i>l</i> - (W/m.K)	Kinematic viscosity - <i>v</i> - $\times 10^{-6}$ (m ² /s)	Expansion coefficient - <i>b</i> - $\times 10^{-3}$ (1/K)	Prandtl's number - P_r -
-150	2.793	1.026	0.0116	3.08	8.21	0.76
-100	1.980	1.009	0.0160	5.95	5.82	0.74
-50	1.534	1.005	0.0204	9.55	4.51	0.725
0	1.293	1.005	0.0243	13.30	3.67	0.715
20	1.205	1.005	0.0257	15.11	3.43	0.713
40	1.127	1.005	0.0271	16.97	3.20	0.711
60	1.067	1.009	0.0285	18.90	3.00	0.709
80	1.000	1.009	0.0299	20.94	2.83	0.708
100	0.946	1.009	0.0314	23.06	2.68	0.703
120	0.898	1.013	0.0328	25.23	2.55	0.70
140	0.854	1.013	0.0343	27.55	2.43	0.695
160	0.815	1.017	0.0358	29.85	2.32	0.69
180	0.779	1.022	0.0372	32.29	2.21	0.69
200	0.746	1.026	0.0386	34.63	2.11	0.685
250	0.675	1.034	0.0421	41.17	1.91	0.68
300	0.616	1.047	0.0454	47.85	1.75	0.68
350	0.566	1.055	0.0485	55.05	1.61	0.68
400	0.524	1.068	0.0515	62.53	1.49	0.68

Fuente: AIR PROPERTIES. http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html.
Consultado en mayo de 2011.

Anexo 4. Propiedades del agua en función de la temperatura

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Fuente: MOTT, Robert. *Mecánica de Fluidos*. p. 589.

Anexo 5. Agua saturada, tabla de presiones

TABLA A-5E												
Agua saturada. Tabla de presiones												
Pres., P psia	Temp. sat., T _{sat} °F	Volumen específico, ft ³ /lbm		Energía interna, Btu/lbm			Entalpía, Btu/lbm			Entropía, Btu/lbm · R		
		Líquido sat., v _f	Vapor sat., v _g	Líquido sat., u _f	Evaporación, u _{fg}	Vapor sat., u _g	Líquido sat., h _f	Evaporación, h _{fg}	Vapor sat., h _g	Líquido sat., s _f	Evaporación, s _{fg}	Vapor sat., s _g
1	101.69	0.01614	333.49	69.72	973.99	1043.7	69.72	1035.7	1105.4	0.13262	1.84495	1.9776
2	126.02	0.01623	173.71	94.02	957.45	1051.5	94.02	1021.7	1115.8	0.17499	1.74444	1.9194
3	141.41	0.01630	118.70	109.39	946.90	1056.3	109.40	1012.8	1122.2	0.20090	1.68489	1.8858
4	152.91	0.01636	90.629	120.89	938.97	1059.9	120.90	1006.0	1126.9	0.21985	1.64225	1.8621
5	162.18	0.01641	73.525	130.17	932.53	1062.7	130.18	1000.5	1130.7	0.23488	1.60894	1.8438
6	170.00	0.01645	61.982	138.00	927.08	1065.1	138.02	995.88	1133.9	0.24739	1.58155	1.8289
8	182.81	0.01652	47.347	150.83	918.08	1068.9	150.86	988.15	1139.0	0.26757	1.53800	1.8056
10	193.16	0.01659	38.425	161.22	910.75	1072.0	161.25	981.82	1143.1	0.28362	1.50391	1.7875
14.696	211.95	0.01671	26.805	180.12	897.27	1077.4	180.16	970.12	1150.3	0.31215	1.44441	1.7566
15	212.99	0.01672	26.297	181.16	896.52	1077.7	181.21	969.47	1150.7	0.31370	1.44441	1.7549
20	227.92	0.01683	20.093	196.21	885.63	1081.8	196.27	959.93	1156.2	0.33582	1.39606	1.7319
25	240.03	0.01692	16.307	208.45	876.67	1085.1	208.52	952.03	1160.6	0.35347	1.36060	1.7141
30	250.30	0.01700	13.749	218.84	868.98	1087.8	218.93	945.21	1164.1	0.36821	1.33132	1.6995
35	259.25	0.01708	11.901	227.92	862.19	1090.1	228.03	939.16	1167.2	0.38093	1.30632	1.6872
40	267.22	0.01715	10.501	236.02	856.09	1092.1	236.14	933.69	1169.8	0.39213	1.28448	1.6766
45	274.41	0.01721	9.4028	243.34	850.52	1093.9	243.49	928.68	1172.2	0.40216	1.26506	1.6672
50	280.99	0.01727	8.5175	250.05	845.39	1095.4	250.21	924.03	1174.2	0.41125	1.24756	1.6588
55	287.05	0.01732	7.7882	256.25	840.61	1096.9	256.42	919.70	1176.1	0.41958	1.23162	1.6512
60	292.69	0.01738	7.1766	262.01	836.13	1098.1	262.20	915.61	1177.8	0.42728	1.21697	1.6442
65	297.95	0.01743	6.6560	267.41	831.90	1099.3	267.62	911.75	1179.4	0.43443	1.20341	1.6378
70	302.91	0.01748	6.2075	272.50	827.90	1100.4	272.72	908.08	1180.8	0.44112	1.19078	1.6319
75	307.59	0.01752	5.8167	277.31	824.09	1101.4	277.55	904.58	1182.1	0.44741	1.17895	1.6264
80	312.02	0.01757	5.4733	281.87	820.45	1102.3	282.13	901.22	1183.4	0.45335	1.16783	1.6212
85	316.24	0.01761	5.1660	286.22	816.97	1103.2	286.50	898.00	1184.5	0.45897	1.15732	1.6163
90	320.26	0.01765	4.8972	290.38	813.62	1104.0	290.67	894.89	1185.6	0.46431	1.14737	1.6117
95	324.11	0.01770	4.6532	294.36	810.40	1104.8	294.67	891.89	1186.6	0.46941	1.13791	1.6073
100	327.81	0.01774	4.4327	298.19	807.29	1105.5	298.51	888.99	1187.5	0.47427	1.12888	1.6032
110	334.77	0.01781	4.0410	305.41	801.37	1106.8	305.78	883.44	1189.2	0.48341	1.11201	1.5954
120	341.25	0.01789	3.7289	312.16	795.79	1107.9	312.55	878.20	1190.8	0.49187	1.09646	1.5883
130	347.32	0.01796	3.4557	318.48	790.51	1109.0	318.92	873.21	1192.1	0.49974	1.08204	1.5818
140	353.03	0.01802	3.2202	324.45	785.49	1109.9	324.92	868.45	1193.4	0.50711	1.06858	1.5757
150	358.42	0.01809	3.0150	330.11	780.69	1110.8	330.61	863.88	1194.5	0.51405	1.05595	1.5700
160	363.54	0.01815	2.8347	335.49	776.10	1111.6	336.02	859.49	1195.5	0.52061	1.04405	1.5647
170	368.41	0.01821	2.6749	340.62	771.68	1112.3	341.19	855.25	1196.4	0.52682	1.03279	1.5596
180	373.07	0.01827	2.5322	345.53	767.42	1113.0	346.14	851.16	1197.3	0.53274	1.02210	1.5548
190	377.52	0.01833	2.4040	350.24	763.31	1113.6	350.89	847.19	1198.1	0.53839	1.01191	1.5503
200	381.80	0.01839	2.2882	354.78	759.32	1114.1	355.46	843.33	1198.8	0.54379	1.00219	1.5460
250	400.97	0.01865	1.8440	375.23	741.02	1116.3	376.09	825.47	1201.6	0.56784	0.95912	1.5270
300	417.35	0.01890	1.5435	392.89	724.77	1117.7	393.94	809.41	1203.3	0.58818	0.92289	1.5111
350	431.74	0.01912	1.3263	408.55	709.98	1118.5	409.79	794.65	1204.4	0.60590	0.89143	1.4973
400	444.62	0.01934	1.1617	422.70	696.31	1119.0	424.13	780.87	1205.0	0.62168	0.86350	1.4852
450	456.31	0.01955	1.0324	435.67	683.52	1119.2	437.30	767.86	1205.2	0.63595	0.83828	1.4742
500	467.04	0.01975	0.92819	447.68	671.42	1119.1	449.51	755.48	1205.0	0.64900	0.81521	1.4642
550	476.97	0.01995	0.84228	458.90	659.91	1118.8	460.93	743.60	1204.5	0.66107	0.79388	1.4550
600	486.24	0.02014	0.77020	469.46	648.88	1118.3	471.70	732.15	1203.9	0.67231	0.77400	1.4463

Fuente: CENGEL, Yanus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. p. 942.

Anexo 6. Agua saturada, tabla de temperaturas

TABLA A-4E

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °F	Volumen específico, ft ³ /lbm			Energía interna, Btu/lbm			Entalpía, Btu/lbm			Entropía, Btu/lbm · R		
	Pres.	Liq.	Vapor	Liq.	Vapor	Liq.	Vapor	Liq.	Vapor	Liq.	Vapor	
	sat., P _{sat} psia	sat., v _f	sat., v _g	sat., u _f	Evap., u _g	sat., u _g	sat., h _f	Evap., h _g	sat., h _g	sat., s _f	Evap., s _g	sat., s _g
32.018	0.08871	0.01602	3299.9	0.000	1021.0	1021.0	0.000	1075.2	1075.2	0.00000	2.18672	2.1867
35	0.09998	0.01602	2945.7	3.004	1019.0	1022.0	3.004	1073.5	1076.5	0.00609	2.17011	2.1762
40	0.12173	0.01602	2443.6	8.032	1015.6	1023.7	8.032	1070.7	1078.7	0.01620	2.14271	2.1589
45	0.14756	0.01602	2055.8	13.05	1012.2	1025.3	13.05	1067.8	1080.9	0.02620	2.11587	2.1421
50	0.17812	0.01602	1703.1	18.07	1008.9	1026.9	18.07	1065.0	1083.1	0.03609	2.08956	2.1256
55	0.21413	0.01603	1430.4	23.07	1005.5	1028.6	23.07	1062.2	1085.3	0.04586	2.06377	2.1096
60	0.25638	0.01604	1206.1	28.08	1002.1	1030.2	28.08	1059.4	1087.4	0.05554	2.03847	2.0940
65	0.30578	0.01604	1020.8	33.08	998.76	1031.8	33.08	1056.5	1089.6	0.06511	2.01366	2.0788
70	0.36334	0.01605	867.18	38.08	995.39	1033.5	38.08	1053.7	1091.8	0.07459	1.98931	2.0639
75	0.43016	0.01606	739.27	43.07	992.02	1035.1	43.07	1050.9	1093.9	0.08398	1.96541	2.0494
80	0.50745	0.01607	632.41	48.06	988.65	1036.7	48.07	1048.0	1096.1	0.09328	1.94196	2.0352
85	0.59659	0.01609	542.80	53.06	985.28	1038.3	53.06	1045.2	1098.3	0.10248	1.91892	2.0214
90	0.69904	0.01610	467.40	58.05	981.90	1040.0	58.05	1042.4	1100.4	0.11161	1.89630	2.0079
95	0.81643	0.01612	403.74	63.04	978.52	1041.6	63.04	1039.5	1102.6	0.12065	1.87408	1.9947
100	0.95052	0.01613	349.83	68.03	975.14	1043.2	68.03	1036.7	1104.7	0.12961	1.85225	1.9819
110	1.2767	0.01617	264.96	78.01	968.36	1046.4	78.02	1031.0	1109.0	0.14728	1.80970	1.9570
120	1.6951	0.01620	202.94	88.00	961.56	1049.6	88.00	1025.2	1113.2	0.16466	1.76856	1.9332
130	2.2260	0.01625	157.09	97.99	954.73	1052.7	97.99	1019.4	1117.4	0.18174	1.72877	1.9105
140	2.8931	0.01629	122.81	107.98	947.87	1055.9	107.99	1013.6	1121.6	0.19855	1.69024	1.8888
150	3.7234	0.01634	96.929	117.98	940.98	1059.0	117.99	1007.8	1125.7	0.21508	1.65291	1.8680
160	4.7474	0.01639	77.185	127.98	934.05	1062.0	128.00	1001.8	1129.8	0.23136	1.61670	1.8481
170	5.9999	0.01645	61.982	138.00	927.08	1065.1	138.02	995.88	1133.9	0.24739	1.58155	1.8289
180	7.5197	0.01651	50.172	148.02	920.06	1068.1	148.04	989.85	1137.9	0.26318	1.54741	1.8106
190	9.3497	0.01657	40.920	158.05	912.99	1071.0	158.08	983.76	1141.8	0.27874	1.51421	1.7930
200	11.538	0.01663	33.613	168.10	905.87	1074.0	168.13	977.60	1145.7	0.29409	1.48191	1.7760
210	14.136	0.01670	27.798	178.15	898.68	1076.8	178.20	971.35	1149.5	0.30922	1.45046	1.7597
220	17.099	0.01677	23.136	188.22	891.43	1079.6	188.28	965.02	1153.3	0.32414	1.41980	1.7439
230	20.795	0.01684	19.374	198.31	884.10	1082.4	198.37	958.59	1157.0	0.33887	1.38989	1.7288
240	24.985	0.01692	16.316	208.41	876.70	1085.1	208.49	952.06	1160.5	0.35342	1.36069	1.7141
250	29.844	0.01700	13.816	218.54	869.21	1087.7	218.63	945.41	1164.0	0.36779	1.33216	1.6999
260	35.447	0.01708	11.760	228.68	861.62	1090.3	228.79	938.65	1167.4	0.38198	1.30425	1.6852
270	41.877	0.01717	10.059	238.85	853.94	1092.8	238.98	931.76	1170.7	0.39601	1.27694	1.6730
280	49.222	0.01726	8.6439	249.04	846.16	1095.2	249.20	924.74	1173.9	0.40989	1.25018	1.6601
290	57.573	0.01735	7.4607	259.26	838.27	1097.5	259.45	917.57	1177.0	0.42361	1.22393	1.6475
300	67.028	0.01745	6.4663	269.51	830.25	1099.8	269.73	910.24	1180.0	0.43720	1.19818	1.6354
310	77.691	0.01755	5.6266	279.79	822.11	1101.9	280.05	902.75	1182.8	0.45065	1.17289	1.6235
320	89.667	0.01765	4.9144	290.11	813.84	1104.0	290.40	895.09	1185.5	0.46396	1.14802	1.6120
330	103.07	0.01776	4.3076	300.46	805.43	1105.9	300.80	887.25	1188.1	0.47716	1.12355	1.6007
340	118.02	0.01787	3.7885	310.85	796.87	1107.7	311.24	879.22	1190.5	0.49024	1.09945	1.5897
350	134.63	0.01799	3.3425	321.29	788.16	1109.4	321.73	870.98	1192.7	0.50321	1.07570	1.5789
360	153.03	0.01811	2.9580	331.76	779.28	1111.0	332.28	862.53	1194.8	0.51607	1.05227	1.5683
370	173.36	0.01823	2.6252	342.29	770.23	1112.5	342.88	853.86	1196.7	0.52884	1.02914	1.5580
380	195.74	0.01836	2.3361	352.87	761.00	1113.9	353.53	844.96	1198.5	0.54152	1.00628	1.5478
390	220.33	0.01850	2.0842	363.50	751.58	1115.1	364.25	835.81	1200.1	0.55411	0.98366	1.5378

Fuente: CENGEL, Yanus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. p. 940.