



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

**DISEÑO DE UN PLAN DE OPTIMIZACIÓN PARA LAS SECCIONES DE FLAUTA C,  
B Y DOBLE DE UNA MÁQUINA CORRUGADORA DE CARTÓN**

**Jimmy Luis Emilio Velásquez Orozco**

Asesorado por el Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PLAN DE OPTIMIZACIÓN PARA LAS SECCIONES DE FLAUTA C,  
B Y DOBLE DE UNA MÁQUINA CORRUGADORA DE CARTÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JIMMY LUIS EMILIO VELÁSQUEZ OROZCO**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN JOSUÉ IXPATÁ REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

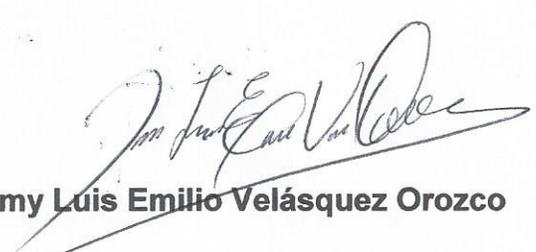
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes
EXAMINADORA	Inga. Sindy Massiel Godínez Batista
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## 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 PLAN DE OPTIMIZACIÓN PARA LAS SECCIONES DE FLAUTA C,  
B Y DOBLE DE UNA MÁQUINA CORRUGADORA DE CARTÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 28 de abril de 2018.



**Jimmy Luis Emilio Velásquez Orozco**



Guatemala, 11 de julio de 2019.  
REF.EPS.DOC.486.07.19.

Ingeniero  
Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

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, **Jimmy Luis Emilio Velásquez, Registro Académico No. 200615005** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DISEÑO DE UN PLAN DE OPTIMIZACIÓN PARA LAS SECCIONES DE FLAUTA C, B Y DOBLE DE UNA MÁQUINA CORRUGADORA DE CARTÓN.**

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. Edwin Josué Ixpata Reyes  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



EJIR/ra



Guatemala, 11 de julio de 2019.  
REF.EPS.D.249.07.19

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

Estimado Ingeniero 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 PLAN DE OPTIMIZACIÓN PARA LAS SECCIONES DE FLAUTA C, B Y DOBLE DE UNA MÁQUINA CORRUGADORA DE CARTÓN**, que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Jimmy Luis Emilio Velásquez** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS

OAH /ra





REF.REV.EMI.076.019

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN PLAN DE OPTIMIZACIÓN PARA LAS SECCIONES DE FLAUTA C,B Y DOBLE DE UNA MÁQUINA CORRUGADORA DE CARTÓN**, presentado por el estudiante universitario **Jimmy Luis Emilio Velásquez Orozco**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval.

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



Guatemala, julio de 2019.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.DIR.EMI.185.019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor **DISEÑO DE UN PLAN DE OPTIMIZACIÓN PARA LAS SECCIONES DE FLAUTA C, B Y DOBLE DE UNA MÁQUINA CORRUGADORA DE CARTÓN**, presentado por el estudiante universitario **Jimmy Luis Emilio Velásquez Orozco**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

**Ing. Cesar Ernesto Urquizu Rodas**  
**DIRECTOR**

**Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial**



Guatemala, noviembre de 2019.

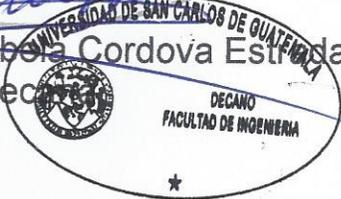
/mgp



La Decana 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 PLAN DE OPTIMIZACIÓN PARA LAS SECCIONES DE FLAUTA C, B Y DOBLE DE UNA MÁQUINA CORRUGADORA DE CARTÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Jimmy Luis Emilio Velásquez Orozco**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana

  
DECANO  
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, noviembre de 2019

AACE/asga  
/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por estar conmigo siempre y permitirme obtener este gran triunfo.
<b>Mis padres</b>	Por todo su infinito amor, cariño y comprensión, así como su apoyo económico y moral durante todos estos años de mi vida.
<b>Mi abuelita Julia Vásquez</b>	Por su inmenso amor, apoyo moral y económico durante todos estos años de mi vida.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por recibirme con los brazos abiertos, y ser parte de mi formación profesional, gracias por tantos momentos felices e inolvidables.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por tantas alegrías y tristezas, y por formar mis conocimientos y convertirme en un profesional de éxito.
<b>Lic. Johnny Gudiel</b>	Por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación en Caisa, S.A y brindarme toda la asistencia durante el proceso.
<b>Ing, Edwin Ixpatá</b>	Por su asesoría del presente trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por guardarme y protegerme todos los días de mi vida, así como darme la sabiduría y el conocimiento necesario para lograr mis triunfos.
- Mis padres** Fredy Aroldo Velásquez López y Celeste Maurilia Orozco de Vásquez, por ser unos extraordinarios padres, por inculcarme valores morales y éticos, a ser un hombre de valor, trabajador y temeroso de Dios.
- Mis hermanos** Bryan Rocael y Andy Josué Velásquez Orozco, por todo su apoyo y consejos a lo largo de mi vida.
- Mi abuelita** Julia Teresa Vásquez Miranda, por brindarme amor, cariño, y consejos durante todos estos años de mi vida.
- Mis abuelitos** Román Velásquez y Julia López, por sus consejos durante estos años
- Mi novia** Dulce Monterroso, por su inmenso amor, consejos y apoyo durante este tiempo juntos.

**Mi sobrina**

Paula Sofia Velásquez Ruiz, por llenar nuestras vidas de tanto amor desde su nacimiento.

**Mi cuñada**

Stephanee Ruiz, Con mucho cariño.

**Mis tíos**

Osman y Carolina Vásquez por sus consejos y el estar al pendiente durante todos estos años.

**Mis primos**

Anthony y Mónica Orozco, Con mucho cariño.

**Mis amigos**

Por todos los grandes momentos que compartimos juntos a lo largo de este camino, agradecimiento especial a Reyna Márquez, Adelvy Mauricio, Edson Chojolan, Jesus Tzian y Carlos Pérez.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN.....	XXV
OBJETIVOS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN .....	XXIX
1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
1.1. Descripción de la empresa .....	1
1.1.1. Misión .....	2
1.1.2. Visión.....	2
1.1.3. Valores .....	2
1.1.4. Política de calidad.....	3
1.2. Ubicación.....	4
1.3. Estructura organizacional .....	5
1.3.1. Organigrama general de la empresa .....	6
1.3.2. Organigrama del área de corrugación .....	8
1.4. Planta de producción.....	9
1.5. Máquina corrugadora .....	10
1.5.1. Secciones de máquina corrugadora .....	12
1.5.2. Proceso de corrugado .....	16
1.5.2.1. Diagrama de operaciones.....	19
1.5.2.2. Diagrama de producto .....	27

2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL. DISEÑO DE UN PLAN DE OPTIMIZACIÓN PARA LAS SECCIONES DE FLAUTA C, B Y DOBLE DE UNA MÁQUINA CORRUGADORA DE CARTÓN .....	29
2.1.	Diagnóstico de la situación actual de la máquina corrugadora de cartón .....	29
2.2.	Evaluación de las secciones de máquina corrugadora .....	30
2.2.1.	Evaluación de la sección C .....	31
2.2.2.	Evaluación de la sección B.....	32
2.2.3.	Evaluación de la sección doble .....	33
2.3.	Estudio de tiempos.....	33
2.3.1.	Estudio de tiempos cronometrados .....	34
2.3.1.1.	Herramientas del estudio de tiempos cronometrados .....	35
2.3.1.2.	Procedimientos para el estudio de tiempos.....	36
2.3.1.3.	Tolerancias.....	37
2.3.1.4.	Tiempos cronometrados.....	39
2.3.1.5.	Tiempo normal .....	39
2.3.1.6.	Tiempo estándar .....	40
2.3.2.	Estudio de tiempos y diagrama de fabricación para las secciones B, C y doble .....	43
2.3.2.1.	Estudio de tiempos.....	43
2.3.2.2.	Diagramas de fabricación.....	48
2.3.2.3.	Diagramas hombre-máquina .....	53
2.3.3.	Volumen de producción actual .....	70
2.3.4.	Productividad en las secciones B, C y doble.....	70
2.3.4.1.	Eficiencia en las secciones B, C y doble .....	71

	2.3.4.2.	Eficacia en las secciones B, C y doble.....	72
2.4.		Propuesta para diseñar un plan de optimización.....	72
	2.4.1.	Reducción de tiempos de preparación .....	73
	2.4.2.	Volumen de producción mejorado .....	78
	2.4.3.	Productividad mejorada .....	79
	2.4.3.1.	Eficiencia .....	79
	2.4.3.2.	Eficacia .....	79
3.		FASE DE INVESTIGACIÓN. PROPUESTA DE DISEÑO PARA UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA DE CORRUGADO.....	81
3.1.		Diagnóstico de la situación actual de la red de vapor.....	81
3.2.		El vapor en la caldera.....	82
3.3.		Capacidad de la caldera.....	84
	3.3.1.	Rendimiento térmico.....	87
	3.3.2.	Tipos de vapor.....	89
	3.3.2.1.	Vapor saturado .....	89
	3.3.2.2.	Vapor sobrecalentado.....	90
	3.3.2.3.	Calidad del vapor.....	91
3.4.		Diseño de una red de distribución de vapor .....	93
	3.4.1.	Determinación de la presión inicial de vapor .....	94
	3.4.2.	Tuberías y ramales.....	96
	3.4.3.	Tubería de retorno para condensado .....	99
	3.4.4.	Tubería para trampa de vapor .....	101
3.5.		Propuesta de diseño para red de vapor .....	102
	3.5.1.	Drenado del condensado y trampeo.....	103
	3.5.2.	Drenado de las líneas de distribución.....	104
	3.5.3.	Trampa de vapor y sus especificaciones.....	105

3.5.4.	Selección de la trampa de vapor .....	108
3.5.4.1.	Factor de seguridad .....	108
3.5.4.2.	Diferencias de presiones .....	109
3.5.4.3.	Presión permitida .....	110
3.5.5.	Trampeo unitario .....	110
3.5.6.	Expansión térmica tuberías .....	112
3.5.7.	Junta tipo fuelle .....	113
3.5.8.	Junta tipo omega .....	116
3.5.9.	Junta tipo telescópica .....	116
3.5.10.	Soporte en tuberías .....	117
3.5.11.	Plan de mantenimiento .....	125
3.6.	Recolección de condensado .....	130
3.7.	Análisis .....	133
3.7.1.	El combustible .....	134
3.7.2.	Consumo de vapor en área de corrugación .....	136
3.7.3.	Capacidad del vapor de la caldera .....	138
3.7.4.	Rendimiento de la caldera .....	144
3.7.5.	Diseño de red de vapor .....	146
3.7.6.	Determinación de diámetros para tuberías .....	147
3.7.7.	Selección de trampa de vapor .....	157
3.7.8.	Juntas de expansión térmica .....	159
3.7.9.	Aislamiento térmico para tuberías .....	162
3.7.10.	Soportes .....	165
4.	FASE DE DOCENCIA. CAPACITACIÓN DEL PERSONAL OPERATIVO EN ÁREA DE CORRUGACIÓN .....	169
4.1.	Plan de capacitación .....	170
4.2.	Croquis de planta .....	173
4.3.	Ubicación de extintores .....	174

4.4.	Salidas de emergencia .....	179
4.5.	Capacitación de operarios .....	181
4.6.	Evaluación de la capacitación .....	184
4.7.	Resultados.....	186
CONCLUSIONES .....		189
RECOMENDACIONES .....		193
BIBLIOGRAFÍA.....		195
ANEXOS .....		197



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación de la planta de producción.....	4
2.	Organigrama general de la empresa.....	6
3.	Anexo A.....	7
4.	Organigrama del área de corrugación.....	8
5.	Diferentes áreas de la planta de producción .....	9
6.	Croquis de la planta de producción .....	10
7.	Máquina corrugadora de cartón .....	11
8.	Sección C.....	12
9.	Sección B .....	13
10.	Sección doble.....	14
11.	Corte y sisado .....	15
12.	<i>Stacker</i> .....	16
13.	Proceso de corrugado .....	18
14.	Diagrama de operaciones .....	19
15.	Diagrama de producto.....	27
16.	Diagrama de flujo en sección C .....	49
17.	Diagrama de flujo en sección B.....	50
18.	Diagrama de flujo en sección doble .....	52
19.	Pre calentador.....	85
20.	Tanque de propano (A) y tanque de diésel (B) .....	85
21.	Caldera de vapor.....	87
22.	Vapor saturado seco – relación/volumen específico .....	95
23.	Porcentaje de vapor <i>flash</i> .....	100

24.	Cabezal de vapor.....	102
25.	Condensado en tubería de vapor .....	105
26.	Instalación de trapeo incorrecto.....	111
27.	Instalación de trapeo correcto.....	112
28.	Junta tipo fuelle.....	114
29.	Junta tipo fuelle – movimiento axial .....	114
30.	Junta tipo fuelle – movimiento lateral.....	115
31.	Junta tipo fuelle – movimiento angula.....	115
32.	Junta tipo omega .....	116
33.	Junta tipo telescópica .....	117
34.	Soporte tipo tirante.....	117
35.	Soporte anclado.....	118
36.	Soporte de rodillo.....	119
37.	Viga apoyada con carga uniformemente distribuida .....	120
38.	Ahorro de combustible a causa de retornar el condensado.....	131
39.	Inclinación de tubería para recolectar condensado.....	133
40.	Tanque de combustible <i>bunker</i> tipo C .....	135
41.	Esquema de la distribución de vapor en el área de corrugación .....	138
42.	Diseño de red de vapor.....	147
43.	Juntas tipo axial .....	161
44.	Distancias recomendadas de guías para juntas de expansión .....	162
45.	Aislamiento para tuberías de tipo cañuela .....	164
46.	Aislamiento de las turbias de la empresa .....	164
47.	Soporte tipo rodillo con abrazadera .....	166
48.	Diagrama de Ishikawa .....	169
49.	Croquis de planta de producción .....	173
50.	Ubicación de los extinguidores de acuerdo a las libras .....	176
51.	Ubicación de los extinguidores en planta.....	177
52.	Extintores dentro de la planta .....	177

53.	Ubicación de las trampas mecánicas y cebaderos .....	178
54.	Salidas de emergencia de la planta de producción .....	179
55.	Punto de reunión en el área de parqueo de la empresa .....	180
56.	Rótulos de las salidas principales dentro de la planta.....	180
57.	Capacitación a operarios en área de corrugación.....	181
58.	Capacitación a operarios en área de conversión .....	182
59.	Díptico (exterior) entregado a los operarios en planta de producción.....	183
60.	Díptico (interior) entregado a los operarios en planta de producción .	184
61.	Hoja de preguntas sobre capacitación .....	185
62.	Gráficos de resultados de la capacitación.....	186

## **TABLAS**

I.	Descripción de procedimientos para el estudio de tiempos .....	36
II.	Suplementos por descanso en porcentajes .....	42
III.	Tolerancias.....	43
IV.	Estudio de tiempos en la sección C .....	44
V.	Estudio de tiempos en la sección B.....	45
VI.	Estudio de tiempos en la sección doble .....	46
VII.	Operación con más tiempo en la sección C .....	47
VIII.	Operación con más tiempo en la sección B .....	47
IX.	Operación con más tiempo en la sección doble .....	48
X.	Diagrama hombre-máquina, sección C.....	54
XI.	Diagrama hombre-máquina, sección B .....	57
XII.	Diagrama hombre-máquina, sección doble.....	59
XIII.	Diagrama hombre-máquina, sección C – mejorado .....	61
XIV.	Diagrama hombre-máquina, sección B – mejorado .....	64
XV.	Diagrama hombre-máquina, sección doble – mejorado .....	66

XVI.	Promedios de las actividades que conllevan más tiempo .....	74
XVII.	Tiempos mejorados con método propuesto para la sección C .....	75
XVIII.	Tiempos mejorados con método propuesto para la sección B .....	75
XIX.	Tiempos mejorados con método propuesto para la sección doble .....	76
XX.	Tiempo promedio sin la propuesta.....	77
XXI.	Tiempos promedio con la propuesta.....	77
XXII.	Presupuesto de la propuesta .....	80
XXIII.	Especificaciones del agua para calderas, valor requerido .....	83
XXIV.	Especificaciones del agua para calderas, valor recomendado .....	84
XXV.	Costos por fuga de vapor para diferentes diámetros .....	107
XXVI.	Diferentes longitudes de tubo acerado a diferentes temperaturas.....	113
XXVII.	Medidas y pesos en tubería de acero .....	121
XXVIII.	Soportes recomendados para tubería.....	125
XXIX.	Hoja de control de agua de alimentación.....	129
XXX.	Control de parámetros de tubería .....	129
XXXI.	Consumo de vapor en secciones C y doble.....	139
XXXII.	Consumo de vapor en secciones C, B y doble .....	140
XXXIII.	Factor de evaporación .....	142
XXXIV.	Interpolación de temperatura vs factor de evaporación .....	143
XXXV.	Interpolación de temperatura vs líquido saturado .....	145
XXXVI.	Accesorios de tubería para longitud equivalente .....	148
XXXVII.	Calculo de longitud equivalente .....	150
XXXVIII.	Rango permisible de velocidades en sistemas de tuberías .....	151
XXXIX.	Gráfica para cálculo de caídas de presión.....	152
XL.	Capacidades de tubería a velocidades específicas .....	156
XLI.	Especificaciones en la selección de trampa de vapor.....	158
XLII.	Parámetros de diseño para trampas de balde invertido.....	159
XLIII.	Coeficientes de Holborn & Day .....	160
XLIV.	Especificaciones técnicas del aislante para tubería tipo cañuela .....	163

XLV.	Presupuesto de materiales para tubería de vapor .....	167
XLVI.	Actividades de capacitación .....	171
XLVII.	Clasificación de los tipos de extintores.....	175
XLVIII.	Presupuesto .....	187



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>BHP</b>	Caballos de caldera
<b>R</b>	Calificación del operador
<b>Q</b>	Calor
<b><math>\omega</math></b>	Carga distribuida
<b>b</b>	Consumo del combustible
<b><math>d^2</math></b>	Diámetro elevado al cuadrado
<b>hfg</b>	Energía para transformar agua saturada en vapor saturado seco
<b>h</b>	Entalpia
<b>hg</b>	Entalpía de vapor saturado
<b>hf</b>	Entalpía del agua de alimentación
<b><math>h_{fe}</math></b>	Entalpia del fluido de entrada
<b>hv</b>	Entalpia del vapor
<b>etc</b>	Etcétera
<b>FE</b>	Factor de evaporación
<b>gal</b>	Galón
<b>GLP</b>	Gas licuado de petróleo
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>h</b>	horas
<b>Kcal</b>	Kilocalorías
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>KJ</b>	KiloJulio

<b>Lb</b>	Libras
<b>Lvp/h</b>	Libras de vapor por hora
<b>Psi</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>L</b>	Longitud
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados
<b>m/s</b>	Metros por segundo
<b>E</b>	Módulo de elasticidad
<b>I</b>	Momento de inercia
<b><math>\pi</math></b>	Número 3.1516
<b>Ppm</b>	Partes por millón
<b>ms</b>	Peso del vapor producido por la caldera
<b>PCI</b>	Poder calorífico del combustible
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>Pv</b>	Producción de vapor
<b>”</b>	Pulgadas
<b>UK: BS</b>	Reino Unido-norma británica
<b>n</b>	Rendimiento térmico
<b>T</b>	Temperatura
<b>Tc</b>	Tiempo cronometrado
<b>Te</b>	Tiempo estándar
<b>Tn</b>	Tiempo normal
<b>Und</b>	Unidad
<b>TMU</b>	Unidad de medida de tiempo
<b>BTU</b>	Unidad térmica británica

## GLOSARIO

<b>ABMA</b>	Asociación Americana de Fabricación de Calderas.
<b>Adhesivo</b>	Tipo de pegamento utilizado para adherir papel.
<b>Agua tratada</b>	Es agua que previene problemas causadas por las impurezas.
<b>AISC</b>	Instituto Americano de Construcción de Acero.
<b>Aislamiento térmico</b>	Es un recubrimiento térmico que sirve para evitar que el calor se escape de las tuberías.
<b>Alcalinidad</b>	Es una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos.
<b>Almidón de maíz</b>	Es el pegamento para adherir papel, elaborado dentro de la empresa.
<b>ANSI</b>	Instituto Americano de Estándares Nacionales.
<b>API</b>	Instituto Americano del Petróleo.
<b>Área de materia prima</b>	Lugar destinado a almacenar los materiales e ingredientes que intervendrán en el proceso.

<b>Área de corrugación</b>	Parte de la planta en donde se elaboran láminas de cartón.
<b>Área de conversión</b>	Parte de planta en donde se le da parte del acabado final a una lámina de cartón.
<b>Área térmica</b>	Parte de la planta donde está instalada la caldera.
<b>Área de mezclado</b>	Parte de la planta donde está instalada la cocina de mezcla.
<b>Área de producto terminado</b>	Parte de la planta donde se almacena el producto listo para entregar.
<b>ASME</b>	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
<b>Bar</b>	Unidad de presión.
<b>Bunker</b>	Tipo de combustible utilizado en la caldera.
<b>Caballo de caldera</b>	Es producir 34,5 Lb/h de vapor saturado desde 100 Celsius y a una presión de una atmosfera.
<b>Cabezal de calderas</b>	Es una clase especial de tubería de distribución porque puede recibir vapor de una o varias calderas al mismo tiempo.
<b>Caída de presión</b>	Es una pérdida de energía.

<b>Central termoeléctrica</b>	Planta que genera energía eléctrica.
<b>Central geotérmica</b>	Similar a la termoeléctrica.
<b>Cilindro precalentador</b>	Es por donde el papel pasa antes de adherirse al corrugado.
<b>Codos equivalentes</b>	Consigue expresar cada accesorio en función de cierto número de codos.
<b>Condensar</b>	Es convertir el vapor a líquido.
<b>Conductividad</b>	Es una propiedad que tienen los cuerpos que permite el paso a través de sí del calor y la electricidad.
<b>Conversión</b>	Etapas final de una lámina de cartón en donde se le agrega la impresión.
<b>Caldera</b>	Dispositivo diseñado para generar vapor.
<b>Cilindros hidráulicos</b>	Son los encargados de ejercer presión a los rodillos corrugadores.
<b>Circuito cerrado</b>	Significa que el condensado vuelve a retornar a la caldera.
<b>Contrapresión</b>	Es la presión de salida en la trampa de vapor.

<b>Corrosión</b>	Es el deterioro de un metal mediante una reacción química cuando entra en contacto con el oxígeno.
<b>Corrugado de cara sencilla</b>	Es la fabricación de dos papeles liner y un médium para formar una lámina de cartón.
<b>Corrugado de doble pared sencilla</b>	Es la fabricación de una lámina de pared sencilla unido a un médium y un liner.
<b>Croquis</b>	Dibujo o boceto de la planta de producción.
<b>Cuchillas</b>	Sección donde se hace corte de cada lámina de cartón.
<b>Destilación</b>	Es un proceso de separación entre sustancias volátiles.
<b>Diagrama hombre máquina</b>	Es un diagrama que cuantifica cada una de las actividades que el operador realiza con el fin de mejorar una estación de trabajo.
<b>Diesel</b>	Combustible utilizado para precalentar el bunker.
<b>Dietilhidroxilamina</b>	Es un compuesto orgánico incoloro.
<b>Dilatación</b>	Se refiere a que un objeto se expande.
<b>Director de operaciones</b>	Logra que los procesos de producción y los administrativos sean lo más eficientes posibles.

<b>Eficacia</b>	Es la capacidad de alcanzar el efecto que se espera tras la realización de una acción.
<b>Eficiencia</b>	Se refiere a la utilización de los recursos en forma óptima y adecuada.
<b>Eficiencia energética</b>	Significa que el condensado debe ser aprovechado porque aun contiene energía.
<b>Empalmadores</b>	Parte de la maquina corrugadora encargada de ensamblar papel.
<b>Energético</b>	Que está relacionado con energía.
<b>Entalpia</b>	Es un flujo de energía.
<b>Entropía</b>	Es la parte no utilizada de la energía contenida en un sistema.
<b>Estandarizar</b>	Se refiere a ajustarse algo.
<b>Estibar</b>	Se refiere a colocar bultos de cajas uno arriba de otro.
<b>Evaporación nominal</b>	Es un indicador de la cantidad de BHP que son requeridos como mínimo a la hora de comprar una caldera.
<b>Evaporación real</b>	Es la cantidad de BHP que se producen.

<b>Factor de ampliación</b>	Es utilizado para determinar la capacidad de la caldera por posibles ampliaciones futuras.
<b>Flautas</b>	Llamado así también a la onda de cartón.
<b>Gas propano</b>	Combustible utilizado en el encendido del quemador de la caldera.
<b>Gerente general</b>	Representante legal de la empresa en Guatemala.
<b>Golpe de ariete</b>	Es provocado por el condensado dentro de las tuberías.
<b>Gramaje</b>	Es el calibre del papel utilizado para la elaboración de láminas de cartón.
<b>Hidrazina</b>	Es un líquido incoloro y con olor muy fuerte.
<b>Incrustaciones</b>	Se deben a la cantidad de sales minerales de calcio y magnesio presentes en el agua.
<b>Jefe de control de calidad</b>	Coordina las actividades del departamento de control de calidad.
<b>Líder de gestión de calidad</b>	Personas encargadas del sistema de gestión.
<b>Líquido saturado</b>	Es el estado donde el agua empieza a evaporarse.

<b>Locomotora de vapor</b>	Máquina que funciona con vapor.
<b>Manufactura</b>	Es el proceso de fabricación de láminas de cartón.
<b>Manómetro</b>	Instrumento para medir la presión del vapor.
<b>Montacargas</b>	Vehículo destinado únicamente a llevar y traer bobinas de papel.
<b>Papel kraft</b>	Tipo de papel muy resistente utilizado para la producción de cajas.
<b>Papel liner</b>	Tipo de papel utilizado en los extremos de una lámina de cartón.
<b>Papel medium</b>	Tipo de papel que sirve para fabricar la onda.
<b>Onda</b>	Tamaño de la cresta del corrugado.
<b>Optimización</b>	Es mejorar un proceso utilizando o asignando los recursos que intervienen en este de la mejor manera posible.
<b>Pirotubular</b>	Es el tipo de la caldera, el humo y los gases calientes circulan por su interior y los tubos de agua en el exterior.
<b>Poder calorífico</b>	Es la cantidad de energía por unidad de masa.

<b>Precalentador</b>	Aparato que sirve para precalentar el combustible.
<b>Presión</b>	Es la fuerza que ejerce el vapor.
<b>Presión diferencial</b>	Es la diferencia entre la contrapresión (presión de salida) y la presión de entrada en una trampa de vapor.
<b>Presión atmosférica</b>	Es la presión que ejerce la atmosfera.
<b>Proveedores</b>	Empresas que proveen bobinas de papel y suministros.
<b>Ramales</b>	Son líneas de vapor secundarias.
<b>Radiación</b>	Es la emisión de energía.
<b>Representante de la alta dirección</b>	Asiste a la gerencia en la delegación de responsabilidades.
<b>Revalorización</b>	Es el exceso de entalpia.
<b>Revaporizado</b>	Es el vapor producido a baja presión.
<b>Rodillos</b>	Son los encargados de darle forma de onda al papel a través de presión.
<b><i>Roll stand</i></b>	Conocidos como porta bobina, son sujetadores de rodillos encargados de cargar las bobinas de papel.

<b>Single B</b>	Sección intermedia de la máquina corrugadora, tiene la función de proveer papel a la sección C y cuando se corruga en la sección doble.
<b>Single C</b>	Sección de la máquina corrugadora donde inicia el proceso de corrugado.
<b>Single doble</b>	Es la última sección de la máquina corrugadora que une los tres tipos de papel para formar una lámina de cartón.
<b>Sobredimensionar</b>	Se refiere a tuberías que estén de tamaño grande a lo ideal.
<b>Sólidos disueltos</b>	Es una medida de la cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas.
<b>Sólidos en suspensión</b>	Son partículas que permanecen en el agua.
<b>Sujetador de rodillo</b>	Son los encargados de colocar las bobinas gigantes de papel para su desenvoltura.
<b>Sulfito incoloro</b>	Es un compuesto incoloro.
<b>Stacker</b>	Sección que recibe las láminas cortadas de cartón.
<b>Sisas</b>	Es el dobles que se le da a una lámina para formar sus caras.

<b>Sobrecalentamiento</b>	Se da por exceso de trabajo y mal funcionamiento de los rodillos corrugadores.
<b>Tacómetro</b>	Instrumento que sirve papara medir velocidad de rotación de algún mecanismo.
<b>Tianinos</b>	Son sustancias orgánicas.
<b>Tiempo muerto</b>	Es el tiempo en que una máquina no genera nada productivo.
<b>Tiempo de ocio</b>	Es el tiempo en que un operario no está siendo productivo.
<b>Tolerancia</b>	Es un tiempo que se agrega al tiempo normal para que un operador se recupere de fatigas ocasionadas por el trabajo.
<b>Trampa de vapor</b>	Es un aparato que tiene como objetivo sacar el vapor, aire y CO2 del sistema de forma muy rápida.
<b>Turbidez</b>	Es la cantidad de partículas en suspensión (suciedad) que contiene el agua.
<b>Turbina</b>	Es una máquina de flujo.
<b>Válvula</b>	Es un dispositivo de regulacion y control de fluido.
<b>Vapor</b>	Se genera en la caldera a partir de agua y es utilizado pata ablandar y secar cartón.

## RESUMEN

Conocer cada etapa en la elaboración del cartón corrugado ha permitido elaborar los diagramas de procesos de cada sección. En el proceso de fabricación existe tiempo muerto, de ocio y cuellos de botella que a menudo ocasionan paros no programados y demoras en el proceso productivo; es por eso que realizar un estudio de tiempos es muy importante, porque con ello se detectan los procedimientos que conllevan más tiempo y que no son productivos.

En el estudio de tiempos se demuestra que lo que más tiempo consume, así como el que ocasiona paros no programados son los cilindros hidráulicos los cuales debido a los años y usos se han deteriorado.

En cada sección se elabora un diagrama hombre-máquina demostrando que los tiempos de ocio de cada operador y ayudante de operador son muy altos dado que los procedimientos de montar y ensamblar el papel son cortos y los ciclos de trabajo de cada bobina de papel son muy extensos. Es por eso que se hace una propuesta nueva con un método mejorado dejando un solo operador con tiempo suficiente para preparar y ensamblar la bobina de papel.

El incremento productivo se vio reflejado al realizar cambios y mejoras en las tres secciones, la eficiencia se incrementó y los paros no programados disminuyeron.

En la fase de investigación, se realiza una propuesta de rediseño de la red de distribución de vapor; esta contiene el estudio de toda la tubería de vapor

desde la corrugadora hasta su punto de utilización en cada selección de la máquina corrugadora.

En el estudio se detalla cada paso para realizar los cálculos, así como la forma de utilizar las tablas. Se realizó una inspección previa para ver en qué condiciones se encontraba la red de distribución; se determinaron las presiones de trabajo, caídas de presión, tipo de trampa de vapor, tipo de soporte, tipo de aislamiento y longitud y diámetro de la tubería.

En la fase de docencia, se realizaron capacitaciones: una para el área de corrugación y otra para el área de conversión. Se expuso el tema relacionado a la seguridad industrial: a cada operario se le entregó un tríptico relacionado al tema; además, se realizó un croquis con las rutas de evacuación y se colocaron algunos rótulos de salidas y riesgos.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseño de un plan de optimización para una máquina corrugadora de cartón en las secciones de flauta c, b y doble.

### **Específicos**

1. Evaluar la sección de corrugado de flauta tipo C, B y doble con el fin de conocer los parámetros que ayuden a hacer más eficiente la producción.
2. Determinar tiempos muertos, tiempos de ocio, cuellos de botella, para evaluar las condiciones de cada sección.
3. Elaborar un estudio de tiempos para estandarizarlos en cada una de las operaciones de la sección de corrugado de flauta tipo C, B y doble.
4. Determinar la eficiencia en la sección de corrugado de flauta tipo C, B y doble.
5. Proponer un diseño para una red de distribución de vapor por medio de un análisis que permita determinar y conocer parámetros que estén afectando su rendimiento y distribución.
6. Conocer el estado actual de la tubería de vapor.

7. Capacitar al personal de mantenimiento y operarios sobre la importancia de la seguridad industrial.

## INTRODUCCIÓN

La industria de cajas de cartón es muy competitiva y requiere de un control muy preciso en la manufactura de su producto; cada etapa en la fabricación del corrugado consta de diferentes procesos que hacen posible una lámina de cartón. Todo el proceso para hacer una lámina de cartón empieza en la máquina corrugadora, la cual constas de tres secciones; C, B y doble.

La realización de este proyecto tiene como fin principal mejorar la productividad en las secciones de corrugado de la máquina corrugadora.

Todo este análisis contemplara el estudio de tiempos muertos, tiempos de ocio, en las tres secciones, así como la eficiencia y eficacia, para detectar factores que hacen que los operarios y las máquinas no sean productivos. Para la empresa cartonera es muy importante mantener un producto de buena calidad, eficiente y muy puntual.

Por ser una empresa que se dedica únicamente a la producción de cajas de cartón el vapor para el secado del pagado de láminas es muy importante. En la empresa se cuenta con una red de distribución de vapor que fue hecha según se fueron acomodando a los espacios y las necesidades; por eso se desea realizar una propuesta de diseño de una red para la distribución de vapor.

También, se realizará una etapa de capacitaciones con respecto a seguridad industrial debido a que muchos operarios que llevan años trabajando para la empresa se han acomodado y a menudo no utilizan protección

industrial. Por lo que para la alta gerencia es muy importante mantener a sus trabajadores bien capacitados y con una cultura de seguridad industrial.

# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. Descripción de la empresa**

Caisa cartón, S.A., es una empresa dedicada a la fabricación de cajas de cartón corrugado; fue fundada en el año 2004 en la ciudad de Guatemala teniendo a la fecha 14 años de existencia.

Hasta el día de hoy es una de las más grandes y competitivas compañías en la industria de cajas de cartón corrugado, utilizando como materia prima principal bobinas de papel kraft; la corrugación es el proceso principal donde se transforma esta materia prima para la elaboración de las planchas de cartón; las cuales están formadas por los papeles lisos extremos denominados liners o caras y los papeles intermedios denominados ondas formadas por papeles que se conocen como médium, que son los que llevan el proceso de corrugado; todos estos unidos entre sí mediante un adhesivo que se elabora en la empresa, el cual está hecho a base almidón de maíz.

Una vez realizado todo lo anterior se procede al proceso de conversión el cual está compuesto de la impresión y realización de los cortes necesarios sobre las láminas de cartón corrugado que dependerán del tipo de cajas que se vayan a elaborar, y finalizando en el proceso de acabados el cual consta del apilamiento amarrado por bultos, los cuales están ya listos para ser entregados a los clientes.

### **1.1.1. Misión**

“Una empresa fabricante de empaque corrugado, en donde buscamos la satisfacción de nuestros clientes a través del cumplimiento de los requisitos y sus requerimientos de tiempos de entrega.”<sup>1</sup>

### **1.1.2. Visión**

“Ser el principal fabricante de empaque de cartón corrugado de la región satisfaciendo las necesidades del cliente con productos de alta calidad y el mejor servicio de tiempo de entrega.”<sup>2</sup>

### **1.1.3. Valores**

- **Disciplina:** en nuestra empresa seguimos los planes trazados, establecemos nuestros objetivos y luchamos hasta conseguirlos, separamos los asuntos personales de los de la empresa, respetamos los recursos personales de la empresa, y tenemos la convicción de terminar todo lo que empezamos.
- **Pasión:** contamos con una emoción intensa que engloba el entusiasmo y deseo por hacer las cosas.
- **Proactividad:** actuamos de manera positiva sobre todos los problemas que pueden ocurrir en la empresa, debemos ser capaces de reaccionar intensamente y de forma eficaz en todas las situaciones que puedan surgir.

---

<sup>1</sup> Caisa Cartón S. A. *Misión y visión*. <http://www.caisacarton.net/>.

<sup>2</sup> *Ibíd.*

- Perseverancia: luchamos todos los días en contra de las adversidades y problemas nuevos que se puedan presentar, luchamos incesantemente contra pensamientos negativos y no nos dejamos vencer ante los mismos.
- Disponibilidad al cambio: entendemos y estamos dispuestos a las necesidades de cambio, puesto que vivimos en un mundo cambiante y es necesario estar innovados y a la vanguardia de los nuevos retos que surgen día a día.
- Responsabilidad: respetamos los lineamientos y reglas tanto de nuestro negocio, así como de nuestros clientes y proveedores, además contribuimos al crecimiento y armonía el entorno en el que nos desenvolvemos y con las personas que interactuamos.
- Aprendizaje: tenemos claro que cada día se puede aprender algo, por lo que siempre nos mantenemos en constante retroalimentación, de conocimientos, técnicas, procedimientos y demás recursos que nos permitan evolucionar tanto a nosotros como a la empresa.

#### **1.1.4. Política de calidad**

“Nos dedicamos a la fabricación y comercialización de material de empaque corrugado para los mercados del área textil, comercial, industrial y agrícola.

Estamos comprometidos con el cumplimiento de las normativas legales y reglamentarias del país, así como con los requisitos acordados mutuamente con nuestras partes interesadas y nuestros clientes que son el pilar básico sobre el cual gira nuestra empresa.

En nuestras empresas siempre estamos en la búsqueda de la innovación de los diseños de empaque que proveemos y en la mejora continua de la eficacia de nuestros procesos del sistema de gestión de la calidad.”<sup>3</sup>

## 1.2. Ubicación

Las instalaciones de Caisa, Carton, S.A., se encuentran en el kilómetro 18,5 carretera al Pacífico, 6-51, zona 3, Santa Isabel I, Villa Nueva, Guatemala.

La empresa colinda al norte y al oeste con la colonia Santa Isabel I, al sur y al este con la carretera al Pacífico.

Villa Nueva es un municipio de Guatemala, es uno de los municipios más grandes del país con un clima templado, bastante agradable, es una zona bastante transitable en dirección hacia la costa sur.

A continuación, se muestra un bosquejo de la ubicación de la planta.

Figura 1. **Ubicación de la planta de producción**



Fuente: Google Maps. *Ubicación de la planta de producción.* <https://www.maps.google.com/htp>.

Consulta: 16 de septiembre de 2017.

<sup>3</sup> Caisa Cartón S. A. *Política de la empresa.* <http://www.caisacarton.net/>.

### **1.3. Estructura organizacional**

La empresa tiene una estructura organizacional de tipo funcional y pertenece a una cadena empresarial internacional de corrugadoras de cartón. En Guatemala existe un representante quien es el gerente general; sus funciones son: delegar responsabilidades al director de operaciones, representante de la alta dirección, líder de gestión de calidad; dirigir y controlar las actividades de toda la empresa; velar porque se cumplan los objetivos de la organización; autorizar pago a proveedores por compra de bienes y servicios.

El representante de la alta dirección asiste a la gerencia en la delegación de responsabilidades a todos los procesos involucrados en el sistema de gestión de calidad; representa a la alta dirección en las reuniones del sistema de gestión de calidad y es el intermediario entre los procesos involucrados en el sistema de gestión de calidad y el gerente general.

Dentro de las funciones del director de operaciones están: controlar el cumplimiento de planes, programas e índices de producción, así como participar en reuniones con supervisores, jefes de área y asesores de ventas para crear planes estratégicos.

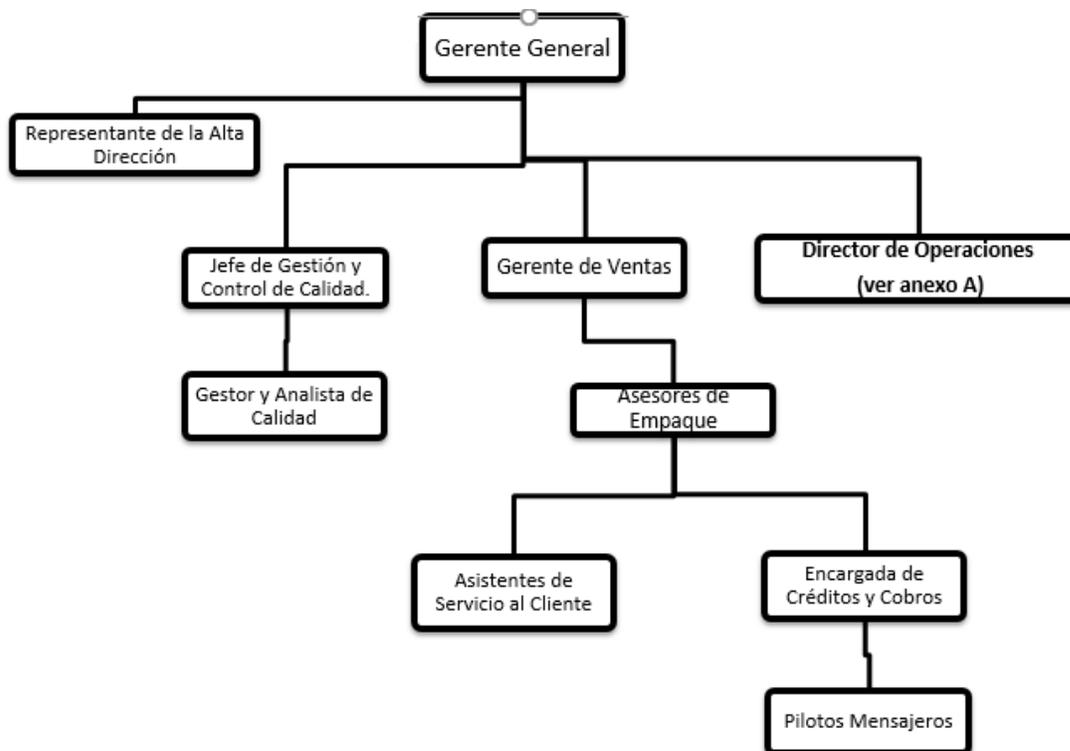
El jefe de control de calidad coordina las actividades del departamento de control de calidad, coordina e implementa mejoras en el sistema de gestión de calidad; da soluciones y reduce los reclamos de los clientes; diseña estrategias para capacitar técnicas del personal en planta y desarrolla actividades en busca de la mejora continua.

El gerente de ventas tiene como fin alcanzar la meta propuesta del proceso de ventas; ampliar la cartera de clientes; mantener la cartera de clientes existentes; realizar ventas y recibir constantes ordenes de clientes.

### 1.3.1. Organigrama general de la empresa

A continuación, se presenta el organigrama general de la empresa.

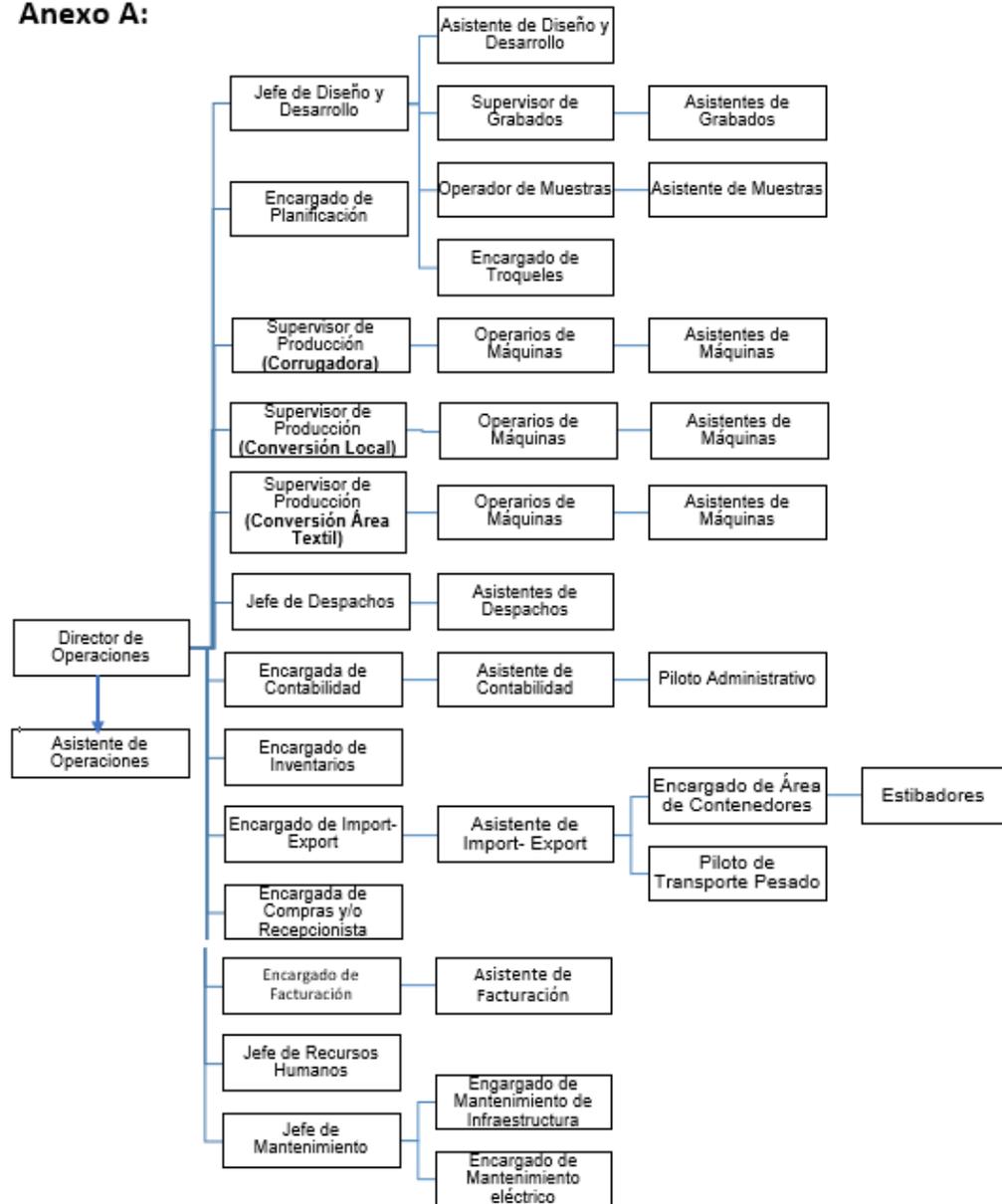
Figura 2. Organigrama general de la empresa



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Anexo A

Anexo A:

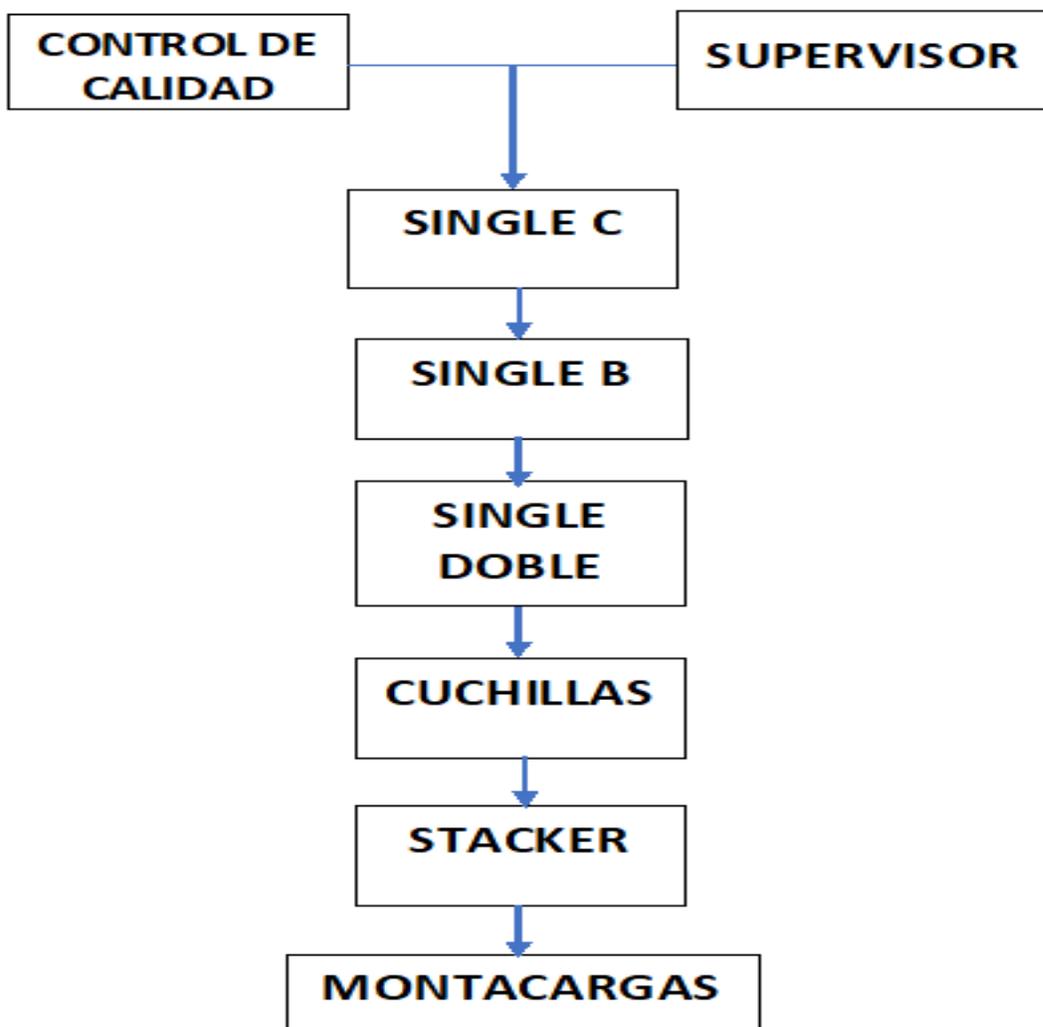


Fuente: elaboración propia.

### 1.3.2. Organigrama del área de corrugación

A continuación, se muestra el organigrama del área de corrugación en la figura 4.

Figura 4. Organigrama del área de corrugación

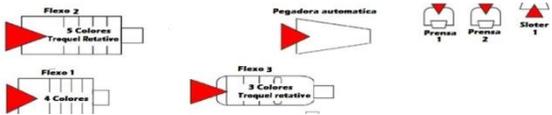


Fuente: elaboración propia.

## 1.4. Planta de producción

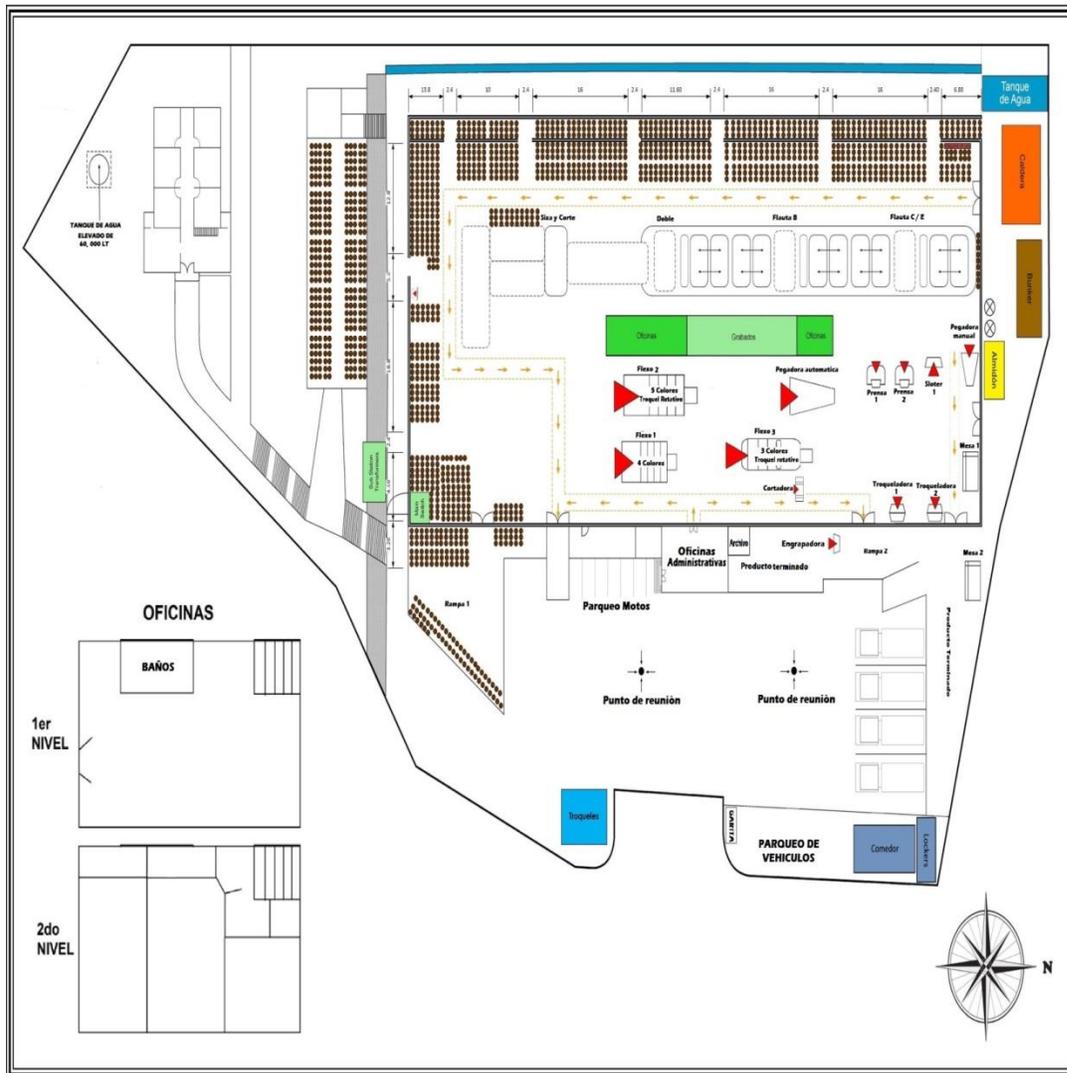
La planta está formada por diferentes secciones; a continuación, se presenta un desglose de cada área y seguidamente de su croquis.

Figura 5. Diferentes áreas de la planta de producción

- Área de materia prima: 
- Área de corrugación: 
- Área de conversión: 
- Área térmica: 
- Área de mezclado: 
- Área de producto terminado: 

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Croquis de la planta de producción



Fuente: elaboración propia.

### 1.5. Máquina corrugadora

Es una máquina diseñada para hacer láminas de cartón; tiene una altura aproximada entre 4 y 5 metros; un ancho entre 2 y 2,5 metros y un largo aproximado de 100 metros.

Posee sujetadores de rodillos que colocan las bobinas gigantes de papel, que pesan aproximadamente 5 000 libras. Se dispone de un juego de dos bobinas para cada sección de la máquina de tal forma que se puedan realizar cambios de gramaje muy rápidos.

Para fabricar una plancha de cartón sencillo se debe disponer de seis sujetadores o *roll stand* y tres dispositivos de cambio rápido. Para pared doble debe disponerse de diez sujetadores y cinco dispositivos de cambio rápido y para el de triple pared de catorce y siete dispositivos de cambio rápido.

Una corrugadora típica opera a una velocidad de 300 a 350 pies por minuto, y a 100 metros por minuto durante el cambio de rollos. Un rollo de papel dura aproximadamente una hora en pasar por la corrugadora.

Figura 7. **Máquina corrugadora de cartón**

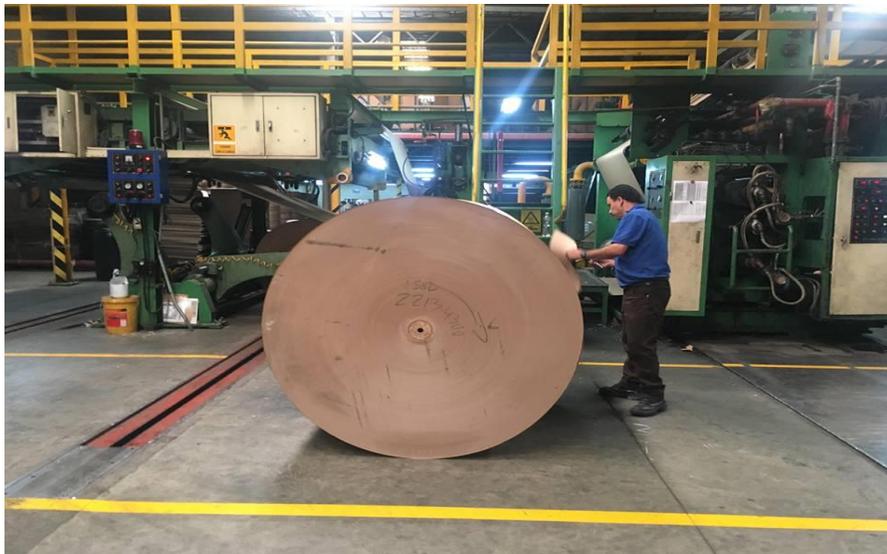


Fuente: elaboración propia.

### 1.5.1. Secciones de máquina corrugadora

- Single C: es la sección de alimentación donde se ingresan rollos de papel liner y médium, que forman la cara simple con flauta C.

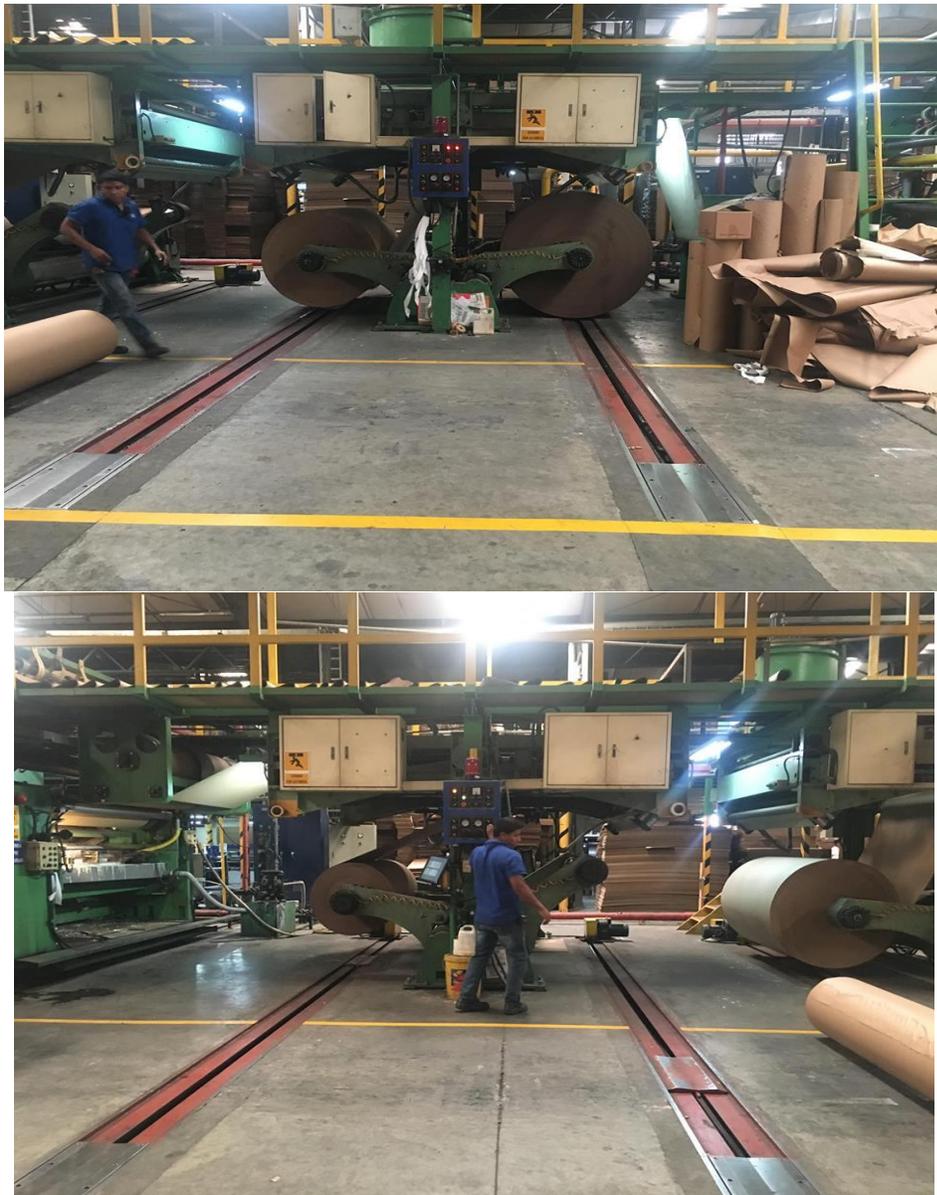
Figura 8. Sección C



Fuente: elaboración propia.

- Single B: es la sección de alimentación donde se ingresan rollos de papel liner y médium, que forman la cara simple con flauta B.

Figura 9. **Sección B**



Fuente: elaboración propia.

- Doble: es la sección de alimentación donde se ingresa el rollo de papel liner para que este sea adherido a una cara simple y formar el cartón del tipo doble pared.

Figura 10. **Sección doble**



Fuente: elaboración propia.

- Corte y Sisado: es la sección que realiza las sizas y los cortes transversales y longitudinales del pliego de cartón continuo producido por la máquina; origen a las láminas de cartón corrugado. Además, en esta misma sección se ingresan al software de la máquina, la secuencia de las órdenes de producción a trabajar.

Figura 11. **Corte y sisado**



Fuente: elaboración propia.

- Stacker: es la sección final de la máquina, donde es inspeccionada la lámina (según los requisitos de conformidad) y apilada.

Figura 12. **Stacker**



Fuente: elaboración propia.

### **1.5.2. Proceso de corrugado**

El proceso de corrugación está compuesto por las tres secciones de la máquina corrugadora: sección C, sección B y sección doble; a partir de las bobinas de papel, permite la fabricación de planchas de cartón corrugado.

El proceso de manufactura de cartón corrugado empieza con un pliego de material corrugado. Este es suavizado con vapor alimentado en enormes rodillos de metal. Una vez colocado en el engranaje, los rodillos van presionando el material en formas de ondas llamadas flautas.

Las flautas corren perpendicularmente a la dirección de la máquina. Se aplica almidón en los extremos de las flautas en un lado y una lámina plana de liner es presionada suavemente contra estas, resultando así un corrugado de cara sencilla flexible en dos direcciones.

Al aplicar más adhesivo en los extremos de las flautas del otro lado y pegar otra lamina de liner. Con estas dos superficies planas en los extremos se obtiene una plancha de cartón de pared sencilla.

El cartón formado pasa a través de una sección rotativa de corte y sisas, esta sección le quita los bordes exteriores y si así se desea corta sisa el cartón en el número de unidades requerida al ancho deseado.

Esta plancha de cartón de cara sencilla puede ser adherido a otro similar con las mismas características y formar así uno de pared doble.

Dependiendo del estilo de la caja y del equipo de acabado a usar, pueden utilizarse ruedas de sisas que las harán en la dirección en que opera la máquina.

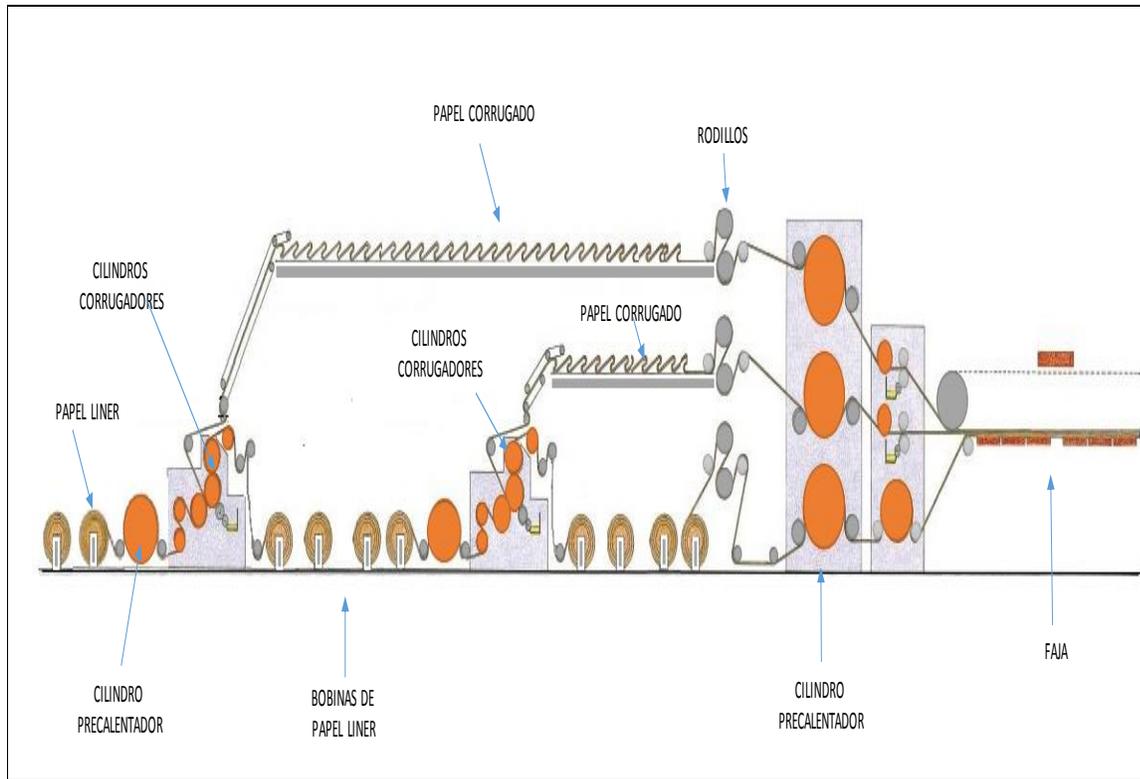
El proceso de corrugado sigue la siguiente secuencia:

- Formación de onda del papel medium (onda) y papel liner.
- Unificación del papel liner con la segunda cara exterior para la formación de pliego de cartón corrugado.
- Secado del pliego de cartón corrugado a través de planchas calientes y luego una sección de enfriamiento por rodillos.

- Transformación del pliego de cartón corrugado a láminas a través de ingreso de medidas de corte y sisas longitudinal y transversalmente.

Para un mejor entendimiento del proceso, a continuación, se muestra un esquema del proceso de corrugación.

Figura 13. **Proceso de corrugado**

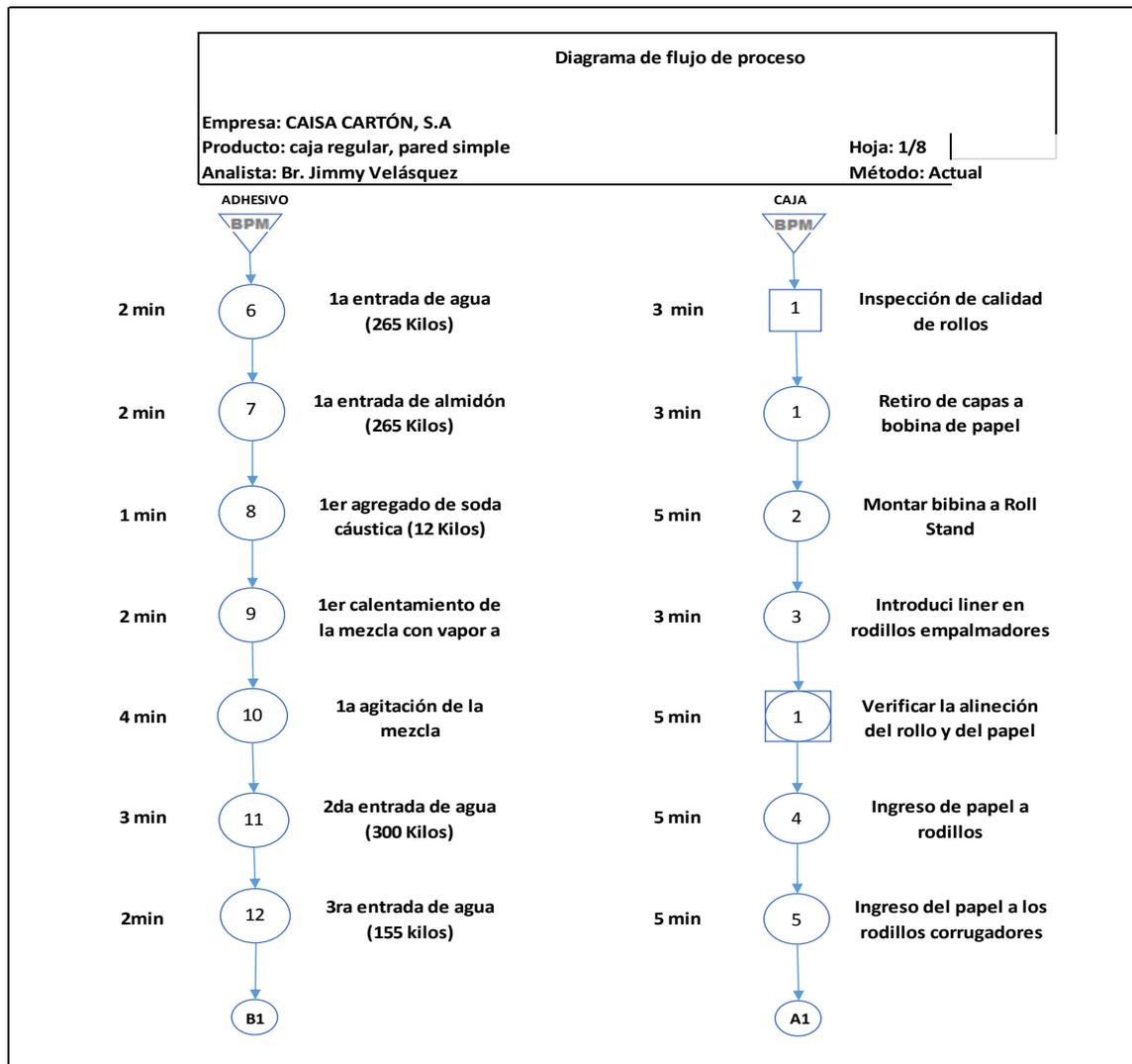


Fuente: elaboración propia.

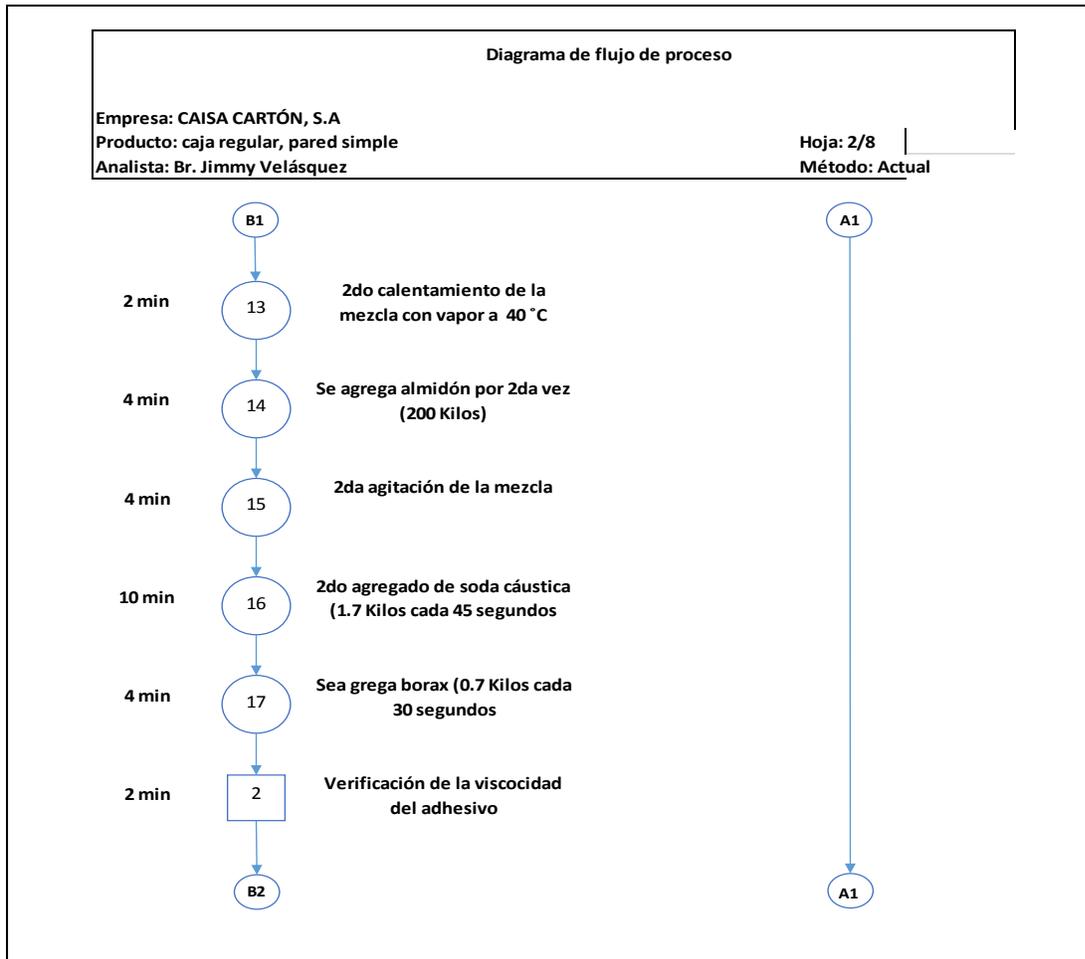
### 1.5.2.1. Diagrama de operaciones

A continuación, se muestra el diagrama de operaciones en la figura 14.

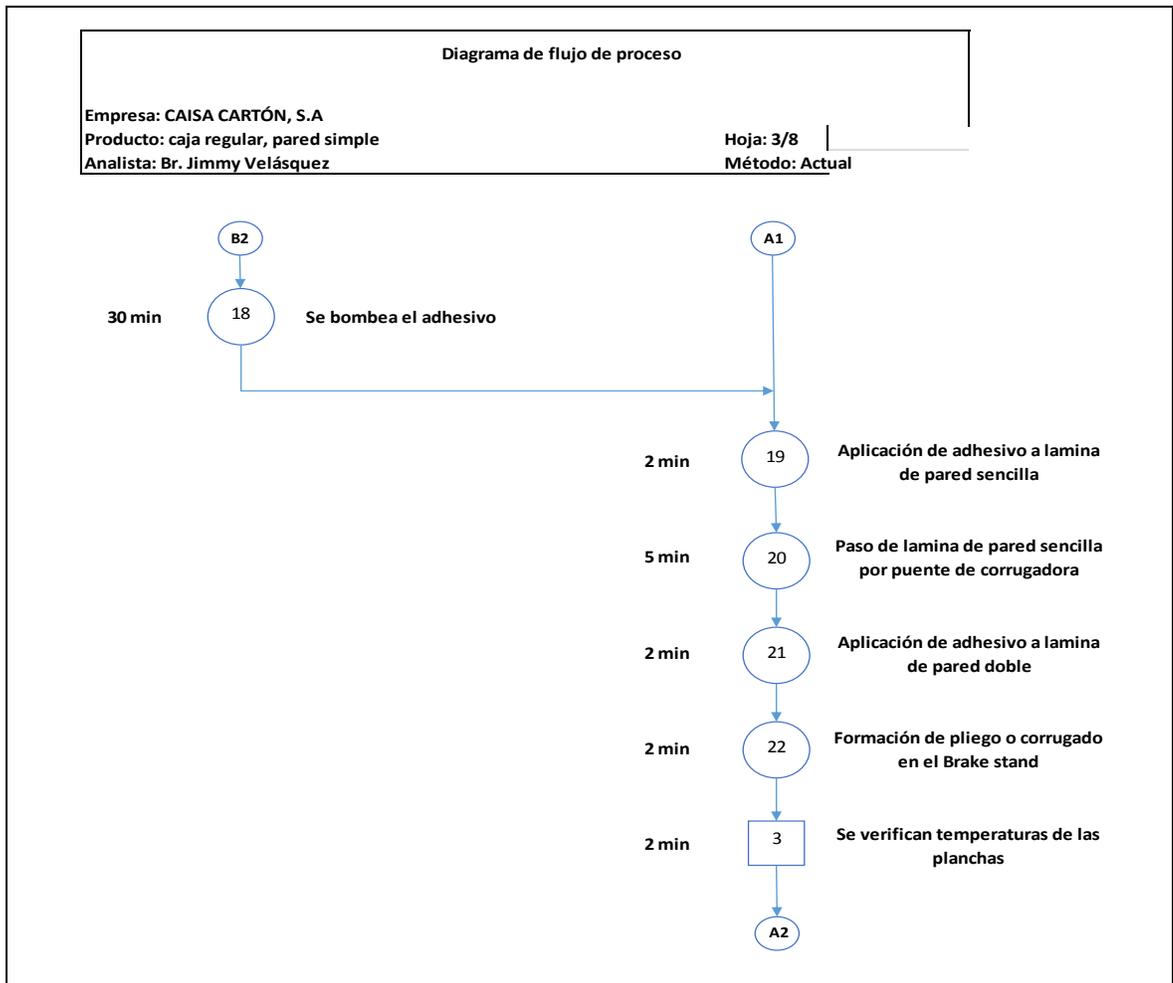
Figura 14. Diagrama de operaciones



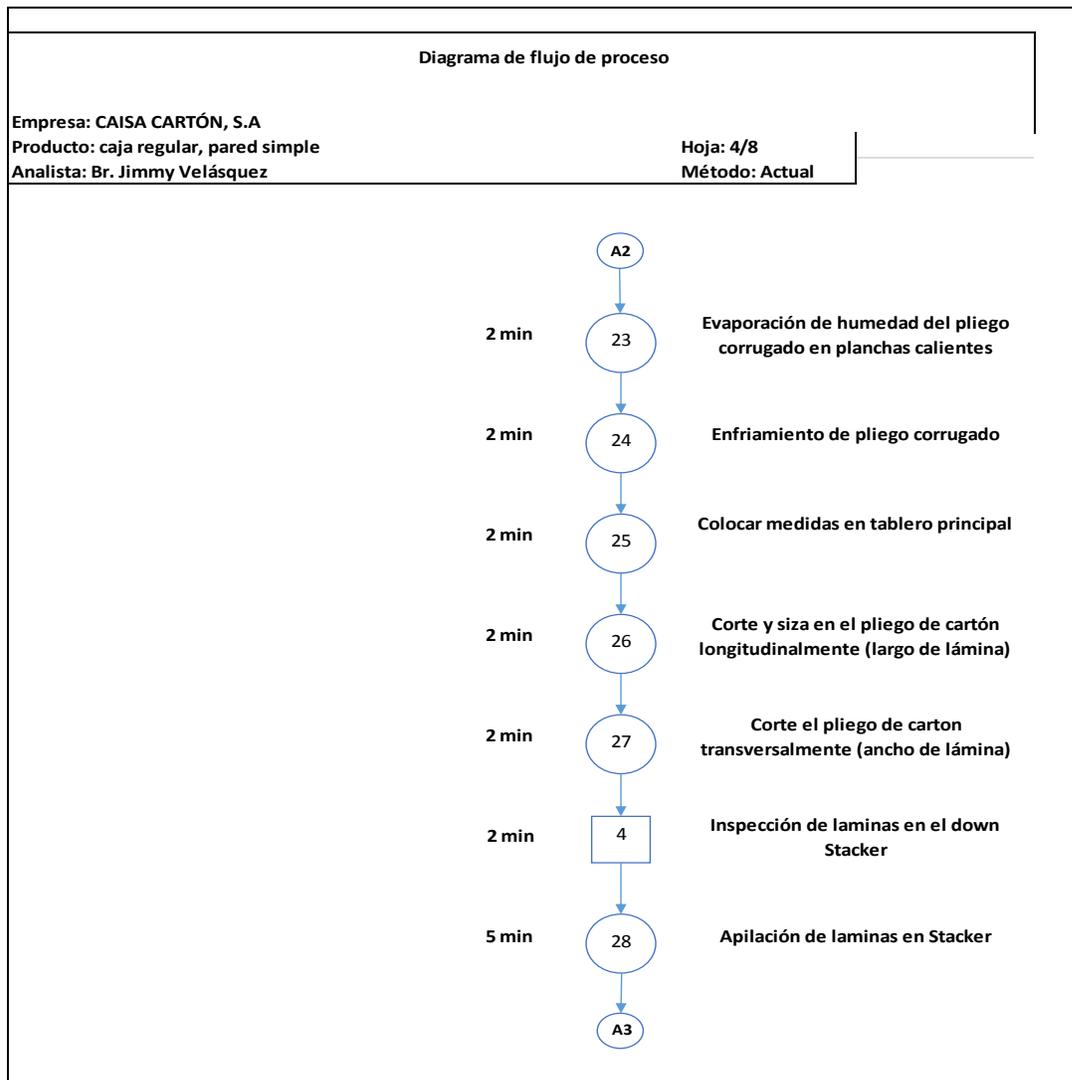
Continuación de la figura 14.



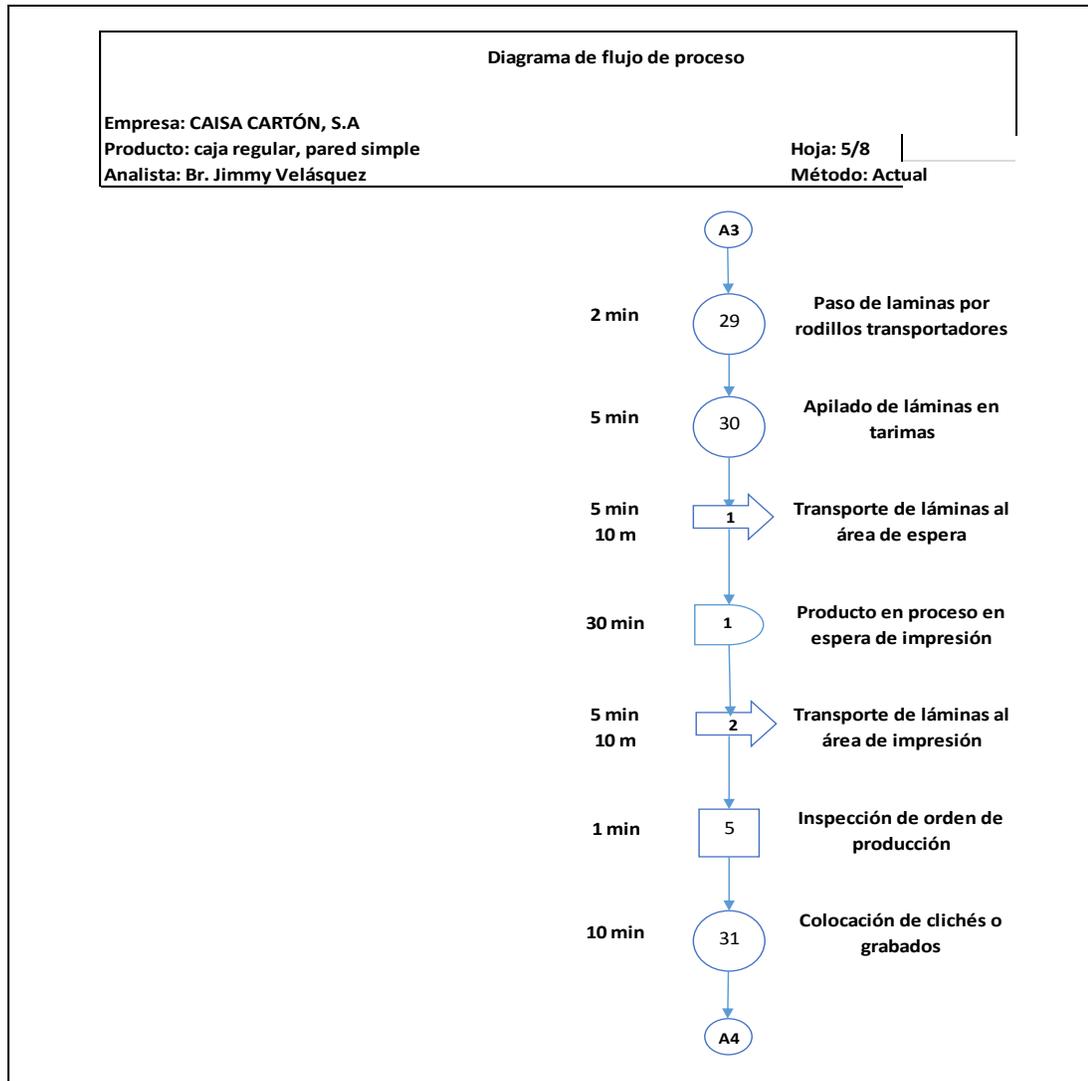
Continuación de la figura 14.



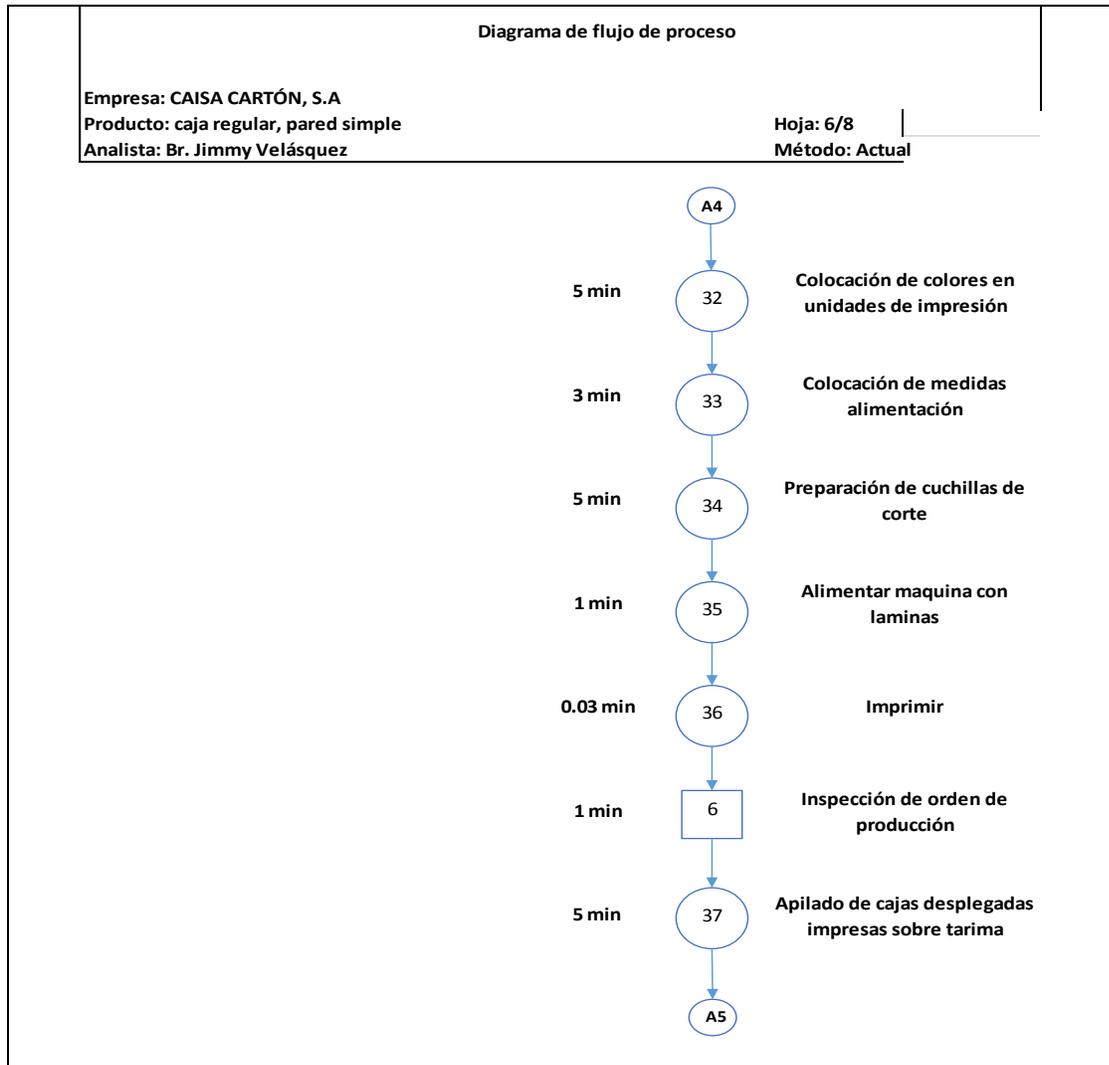
Continuación de la figura 14.



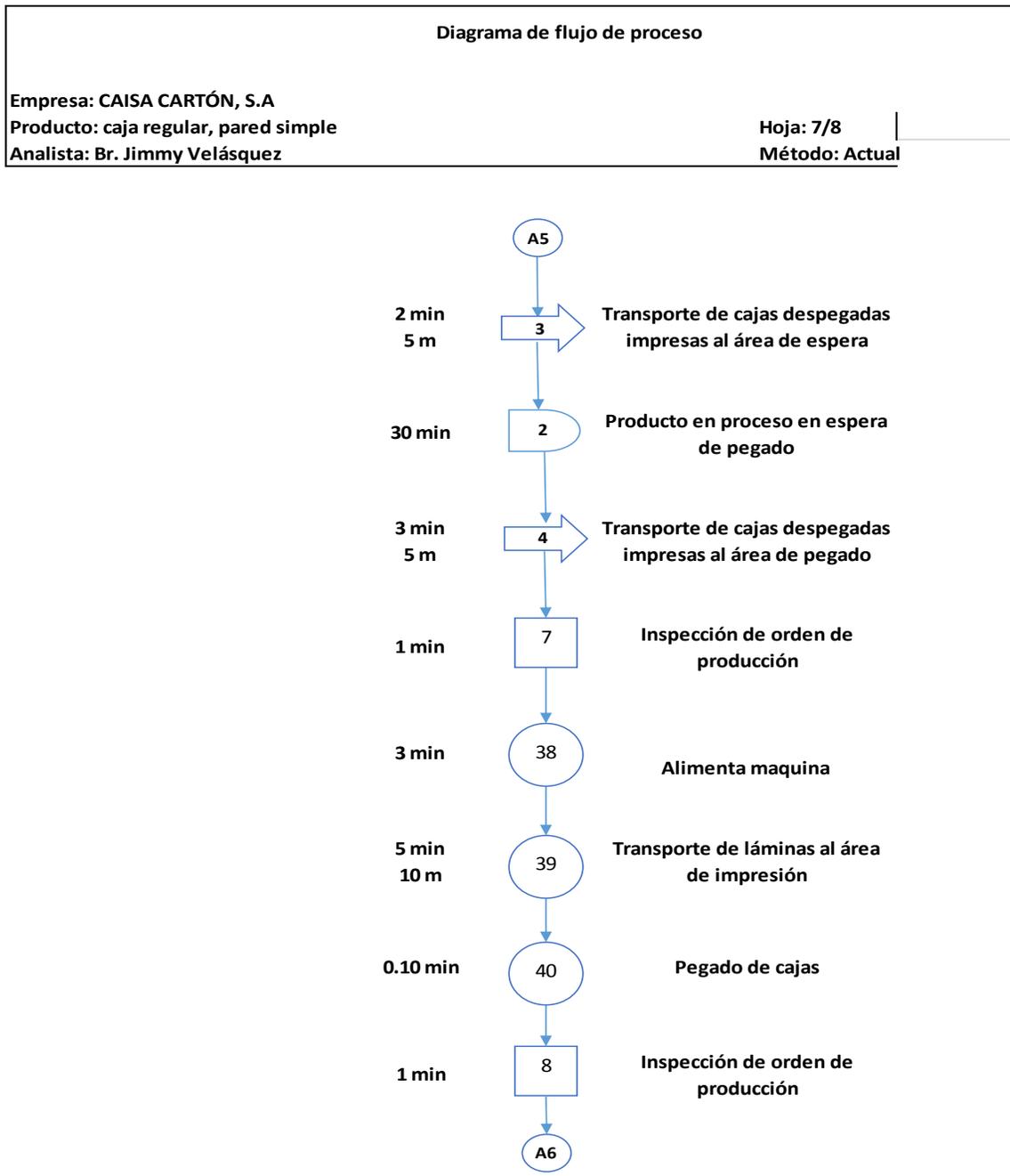
Continuación de la figura 14.



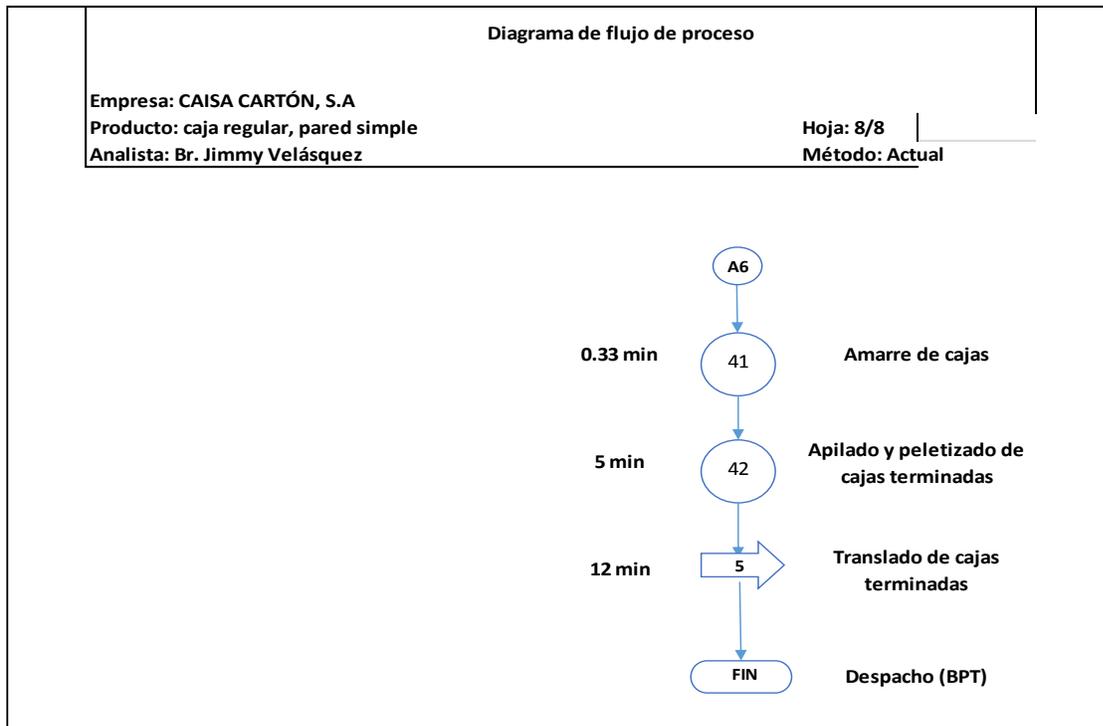
Continuación de la figura 14.



Continuación de la figura 14.



Continuación de la figura 14.



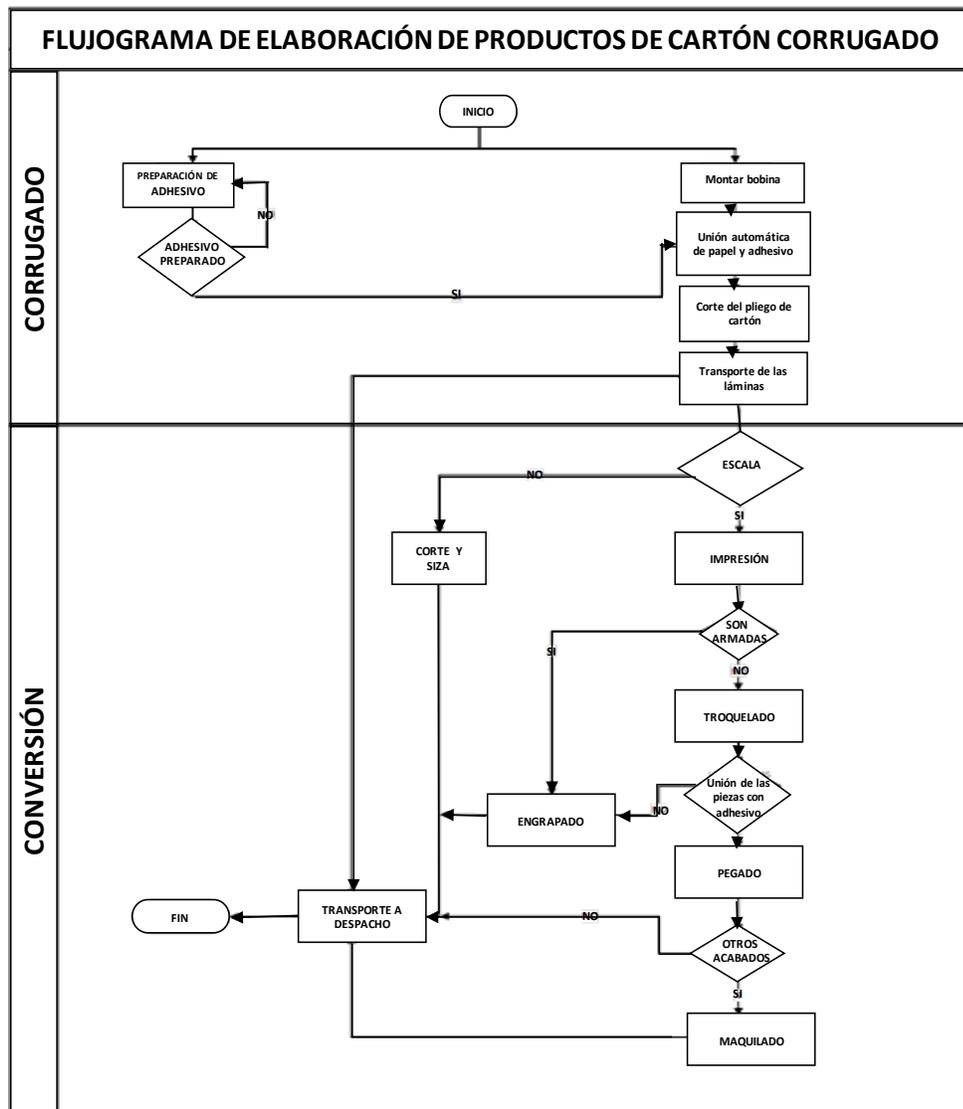
Eventos	Dibujo	Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (m)
Operación		42	166,46	
Inspección		8	13	
Inspección y operación		1	5	
Transporte		5	27	42
Bienes entrantes		2		
Demora		2	60	
<b>Total</b>		<b>60</b>	<b>271,46</b>	<b>42</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

### 1.5.2.2. Diagrama de producto

A continuación, se muestra el diagrama de producto en la figura 15.

Figura 15. Diagrama de producto



Fuente: elaboración propia.



## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL. DISEÑO DE UN PLAN DE OPTIMIZACIÓN PARA LAS SECCIONES DE FLAUTA C, B Y DOBLE DE UNA MÁQUINA CORRUGADORA DE CARTÓN**

### **2.1. Diagnóstico de la situación actual de la máquina corrugadora de cartón**

En el área de corrugación, actualmente, el ritmo de producción ha disminuido y a menudo ocasiona paros no programados, esto hace que se pierda tiempo y genere pérdidas para la empresa.

Existen fallos en los cilindros hidráulicos, cada sección de la máquina tiene dos cilindros de ambos lados que son los encargados de dar presión a los rodillos corrugadores mientras se corruga, esto viene a hacer el proceso de corrugado de cartón más lento y menos eficiente.

El corrugado o flautas en el papel son muy importantes porque forman arcos y cada arco con su propia curva forma resistencia. La resistencia del cartón se logra con la unión de las flautas a las caras que mantienen las columnas en forma perpendicular a la presión de estiba.

El corrugado de cartón de buena calidad depende mucho que la máquina corrugadora tenga en buen estado todos sus componentes. En ocasiones anteriores el corrugado ha venido dando problemas porque no se marca o no se hace muy bien la flauta lo que ha generado retrasos de producción, así como tiempo muerto.

La corrugadora ha venido presentando este bajo rendimiento desde hace un par de meses, a pesar de que se le ha dado mantenimiento no se logra tenerla a un ritmo de producción más rápida.

El mantenimiento también juega un papel muy importante porque las piezas y rodillos generan desgaste, lo que provoca que el rendimiento de la máquina se vea afectado.

Un estudio de tiempos para estas tres secciones indicará que tan productivos son las secciones, se conocerán los tiempos de ocio y tiempo muerto, así como el ritmo de producción.

## **2.2. Evaluación de las secciones de máquina corrugadora**

La máquina corrugadora está compuesta de tres secciones que hacen posible el corrugado del cartón: sección B, sección C y sección doble. Estas en conjunto forman las planchas de papel de pared sencilla (dos liner y un médium) y de pared doble (tres liner y dos médiums).

En cada sección se presenta deterioro, desgaste en diferentes partes y problemas con el corrugado de cartón lo que ha causado demoras y paros no programados.

Además, en las secciones de la máquina corrugadora se tienen problemas con los empalmadores y como su nombre lo indica empalman el papel de una nueva bobina para poder seguir trabajando; sin embargo, este proceso se está realizando de forma manual lo que hace más lento el proceso de fabricación de láminas de cartón.

La máquina corrugadora que se tiene actualmente es un modelo antiguo y ha sido formada por diferentes partes de otras máquinas corrugadoras, cada sección de la máquina posee piezas de diferentes marcas.

Cada sección de la máquina corrugadora está compuesta de porta bobinas iguales, por ejemplo: la sección B y la sección doble poseen cuatro portabobinas, dos que corrugan y dos que alimentan con papel liner.

Mientras que la sección C posee solo dos porta bobinas para alimenta con papel liner.

### **2.2.1. Evaluación de la sección C**

En esta sección de la máquina corrugadora de cartón es donde inicia todo el proceso para fabricar las láminas de cartón; actualmente, esta sección trabaja 15 horas al día de lunes a viernes y sábados 5 horas al día haciendo un total al mes de 320 horas. Este ritmo de producción ha generado desgaste en piezas y sobrecalentamiento en rodillos; sumado a lo anterior, están los cilindros hidráulicos que han venido teniendo problemas para ejercer presión en los rodillos corrugadores de papel.

Muchas piezas fueron traídas de Córrea del Sur; son de segunda mano; existen otras corrugadoras hermanas de la empresa. El supervisor del área de corrugación informó que últimamente se ha perdido velocidad y precisión lo que ha ocasionado demoras.

La gerencia ha estado molesta porque el corrugado ha salido malo y varios lotes han sido rechazados, así como demoras en la entrega del producto.

### **2.2.2. Evaluación de la sección B**

Esta sección es la parte intermedia entre la sección C y doble, posee cuatro porta bobinas: dos para corrugado y dos para alimentar con papel liner; es de características similares a la anterior, alimenta la parte donde se ingresan rollos de papel liner y médium que forma la cara simple con la flauta C.

Actualmente se tienen muchas deficiencias, el ritmo de producción ha bajado, el proceso de corrugado es más lento, existen paros no programados, tiempo de ocio y empalmadores de papel descompuestos por lo que han estado realizando esta tarea manualmente, que genera retrasos en producción.

La parte que más preocupa es donde se corruga el cartón porque últimamente se ha estado teniendo problemas con el corrugado. La gerencia ha estado molesta debido a que el corrugado ha salido malo y varios lotes han sido rechazados, así como demoras en la entrega del producto.

La sección cuenta con partes de diferentes marcas que son de segunda mano; cada sección de la máquina corrugadora fue armándose de diferentes partes de otras corrugadoras.

Nunca antes se hizo un estudio en cada sección de la máquina corrugadora que diagnosticara fallas y defectos en producción; por eso, se hará un estudio de tiempos cronometrados para evaluar la eficiencia en esta y las otras secciones para determinar cuáles son los cuellos de botellas que hacen que el proceso de producción sea lento e ineficiente.

### **2.2.3. Evaluación de la sección doble**

Esta sección de la máquina corrugadora compuesta de cuatro porta bobinas, dos para corrugación y dos para alimentación de papel liner. Alimenta la parte donde se ingresa el rollo de papel liner para que este sea adherido a una cara simple y formar el cartón del tipo pared simple o para formar el cartón del tipo doble pared.

Actualmente, esta sección al igual que las anteriores presenta deterioro en empalmadores, disminución en la velocidad de producción, ineficiencia, paros no programados y demoras, así como deterioro de piezas.

Uno de los problemas que presenta esta sección es el deterioro en la parte de corrugación de papel debido a que por el uso de los años se han ido desgastando y ha estado haciendo un corrugado de mala calidad.

### **2.3. Estudio de tiempos**

El estudio de tiempos es un análisis que se hace en con el fin de evaluar el rendimiento de la máquina, así como el desempeño de los operarios, mediante un cronometro o cualquier otro dispositivo que sea preciso para medir el tiempo cronometrado.

Este método se usa, por ejemplo:

- Si existen algún cambio en la variabilidad del ritmo de producción
- Los operarios se demoran más en hacer una tarea
- Mal funcionamiento del proceso
- Demasiado tiempo de ocio

Medir el ritmo de trabajo sirve para investigar, reducir o eliminar el tiempo improductivo, es decir, todo aquel tiempo durante el cual no se está generando ningún valor agregado a la empresa.

### **2.3.1. Estudio de tiempos cronometrados**

Es la técnica más común para establecer los estándares de tiempo en el área de manufactura. El estándar de tiempo es el más importante de información de manufactura y a menudo el estudio de tiempos cronometrados es el único método aceptable tanto para la gerencia como para los trabajadores.

Este estudio de tiempos cronometrados indica de manera clara y precisa la forma de determinar a partir de un número limitado de observaciones, el tiempo necesario para realizar una determinada labor.

Actualmente existen seis tipos de cronómetros que las empresas utilizan en la realización del estudio de tiempos:

- Cronometro mecánico continuo
- Cronometro mecánico de establecimiento rápido
- Cronómetros digitales y electrónicos
- Tres cronómetros
- TMU (unidad de medida de tiempo)
- Computadora

### **2.3.1.1. Herramientas del estudio de tiempos cronometrados**

Seleccionar las herramientas indicadas para el estudio de tiempos equivale a desempeñar una labor fundamental en la lectura de datos.

Las herramientas utilizadas para hacer un estudio de tiempos cronometrados son las siguientes:

- Cronometro
- Tablas de anotación
- Calculadora
- Videgrabaciones
- Tacómetros
- Formularios de estudio de tiempos

Actualmente se utilizan dos tipos de cronómetros: 1) el cronometro tradicional con décimos en minutos (0,01 min) y 2) el cronometro electrónico, que es mucho más práctico.

Es recomendable que al utilizar el cronometro en el estudio de tiempos se haga con cuidado.

Tener un cronometro averiado puede afectar de forma negativa la labor del estudio.

### 2.3.1.2. Procedimientos para el estudio de tiempos.

El procedimiento para la realización del estudio de tiempos incluye aplicar y desarrollar un enfoque de acercamiento personal con quienes tenga contacto.

Este estudio incluye la siguiente secuencia:

Tabla I. Descripción de procedimientos para el estudio de tiempos

	PROCEDIMIENTOS
1	Definir la tarea de estudio.
2	Registrar la hora al iniciar el estudio.
3	Hacer acopio de la información sobre el trabajo.
4	Dividir el trabajo en elementos.
5	Poner en marcha el cronometro.
6	Realizar las lecturas con el cronometro.
7	Determinar el número de ciclos por cronometro.
8	Calificar, nivelar y normalizar el desempeño del operador.
9	Aplicar tolerancias.
10	Tabular datos obtenidos en la lectura del cronometro.

Fuente: elaboración propia.

El tiempo de inicio se puede medir usando una de las dos técnicas para registrar los tiempos del estudio:

- El método de tiempos continuos, permite que el cronómetro trabaje durante todo el estudio. En este análisis se debe leer el reloj en el punto terminal de cada elemento y el tiempo seguirá corriendo.
- La técnica de regreso a cero, después de hacer la lectura en el cronómetro en el punto final de cada operación, el tiempo se reestablece a cero; cuando se realiza la siguiente operación el tiempo avanza a partir de cero.

### **2.3.1.3. Tolerancias**

La tolerancia es un tiempo que se agrega al tiempo normal para que un operador se recupere de fatigas ocasionadas por el trabajo, para que atienda necesidades personales y para que el estándar sea practico y alcanzable.

La tolerancia se clasifica de la siguiente forma:

- Tolerancia personal: es el tiempo que se concede o se le da a un empleado para que pueda atender cuestiones personales:
  - Asistir a los sanitarios.
  - Platicar con otros compañeros sobre temas que no están relacionados al trabajo.
  - Ingerir líquidos.
  - Cualquier otra razón controlada por el operador para no trabajar.

Todo empleado necesita un tiempo personal, este tiempo se ha definido en un 5 % del día de trabajo, es decir, 24 minutos al día.

- Tolerancia por fatiga: este tipo de tolerancia es un tiempo que se le da a un empleado para que pueda recuperarse del cansancio. Se les da a los empleados en forma de descansos.

Por ejemplo, si un empleado aplica menos de 10 lb de esfuerzo durante la realización de su trabajo, entonces tendrá una tolerancia por fatiga del 5 %.

Se acepta un incremento del 5 % en la tolerancia por fatiga por cada aumento de 10 Lbs en el esfuerzo del trabajador.

- Tolerancia por retrasos: este tipo de tolerancias son consideradas inevitables porque están fuera del control del operador. Algo sucede que hace que el operador no trabaje.

Existen cuatro métodos para la suma de tolerancias. Cada empresa tiene su propio formulario y procedimiento de estudio de tiempos. El formulario indica cual es el método que se emplea para aplicar las tolerancias.

- Primer Método: 18,5 horas por 1 000. Este método es el más simple de todos y reduce las operaciones matemáticas, se basa en una tolerancia constante; en este caso, del 10 %.
- Segundo método: tolerancia constante agregada al tiempo normal total. Este método es el más común en la industria, cada departamento o planta tiene una única tasa de tolerancia. Esta tolerancia se encuentra entre el 10 % y el 15 % en promedio.
- Tercer método: técnicas de tolerancia elementales. En este método, cada elemento de trabajo puede tener diferentes tolerancias. La ventaja que

posee es que se obtienen mejores estándares de tiempo. La desventaja es que se realizan más operaciones matemáticas.

- Cuarto método: técnicas de tolerancia elementales PF&D. Como en el tercer método, la tolerancia es aplicada a cada uno de los elementos y muestra la forma exacta en que se estableció la tolerancia. Es uno de los métodos más completos de todos y exige demasiado esfuerzo y tiempo. Es muy descriptiva, pero demasiado costosa en gran parte de las empresas.

#### **2.3.1.4. Tiempos cronometrados**

Es la técnica más común para establecer los estándares de tiempo en el área de manufactura. El estándar es el tiempo de ciclo establecido combinando los elementos de trabajo en tareas.

A demás el tiempo cronometrado es el promedio de 10 a 30 tiempos cronometrados y, debido a que las operaciones son repetidas y monótonas se ha determinado el ciclo de 10 tiempos cronometrados.

$$T_c = \frac{T_1+T_2+T_3+T_4+T_6+T_6+T_7+T_8+T_9+T_{10}}{n} \quad [\text{Ec. 1}].$$

#### **2.3.1.5. Tiempo normal**

Es el tiempo por el cual un trabajador realiza una tarea tomando en cuenta el factor de valoración (calificación del operador).

La fórmula es la siguiente:

$$T_n = T_c + \frac{\bar{R}}{100} \quad [\text{Ec. 2}].$$

Donde:

- $T_n$  = tiempo normal
- $T_c$  = tiempo cronometrado
- $\bar{R}$  = calificación del operador

La calificación del desempeño del operador debe realizarse durante la observación de los tiempos elementales. Conforme un operario procede de un elemento al siguiente, usando el método prescrito, el analista debe evaluar la velocidad, la destreza, los movimientos falsos, el ritmo, la coordinación, la efectividad y otros factores que influyen en la producción.

#### **2.3.1.6. Tiempo estándar**

Es el tiempo requerido para efectuar una tarea. Tiene incluidos los tiempos de los elementos cíclicos (repetitivos, constantes y variables), así como los elementos casuales o contingentes que fueron evaluados durante el estudio de tiempos.

Es el tiempo que un trabajador de tipo medio, plenamente calificado y adiestrado, y trabajando a un ritmo normal, lleve a cabo la operación.

La fórmula es la siguiente:

$$T_e = T_n * (1 + \% \text{ suplemento}) \quad [\text{Ec. 3}].$$

Donde:

- $T_e$  = tiempo estándar
- $T_n$  = tiempo normal
- % de suplementos

Pasos para calcular el tiempo estándar:

- Obtener y registrar información de la operación
- Descomponer la tarea y registrar sus elementos
- Tomar las lecturas
- Nivelar el ritmo de trabajo
- Calcular los suplementos del estudio de tiempos

A continuación, se muestra una tabla de suplementos variables, las cuales son añadidas dependiendo la operación de trabajo.

Tabla II. Suplementos por descanso en porcentajes

	Hombre	Mujer		Hombre	Mujer
<b>1 Suplementos constantes</b>			<b>E Condiciones atmosfericas (calor humedad)</b>		
Suplementos por necesidades personales			Indice de enfriamiento en el termometro humedo de suplemento kata (milicalorias/cm2/segundo)		
Suplementos base por fatiga	5	7	16	0	0
<b>2 Suplementos variables</b>	2	4	14	0	0
<b>A Trabajo de pie</b>			12	0	0
<b>B Postura normal</b>			10	3	3
Ligeramente incomoda	0	1	8	10	10
Incomoda (inclinado)	2	3	6	21	21
Muy incomoda (acostado, esturado)	7	7	5	31	31
<b>C Uso de fuerza o energia muscular (levantar, tirar o empujar)</b>			4	45	45
<b>Peso levantado por kiligramo</b>			3	64	64
2.5	0	1	2	100	100
5	1	2	<b>F Concentracion intensa</b>		
7.5	2	3	Trabajo de cierta precision	0	0
10	3	4	Trabajo de precision o fatigoso	2	2
12.5	4	6	Trabajo de gran precision o muy fatigoso	5	5
15	5	8	<b>G Ruido</b>		
17.5	7	10	Continuo	0	0
20	9	13	Intermitente y fuerte	2	2
22.5	11	18	Intermitente y muy fuerte	5	5
25	13	20 Max	Estridente y fuerte	....	....
30	17	....	<b>H Tension mental</b>		
33.5	22	....	Proceso bastante complejo	1	1
<b>D Mala iluminacion</b>			Proceso complejo o atencion dividida entre muchos objetos	4	4
Ligeramente por de debajo de potencia calculada	0	0	Muy Compleja	8	8
Bastante por debajo	2	2	<b>I Monotonia</b>		
Absolutamente insuficiente	5	5	Trabajo algo monotono	0	0
			Trabajo bastante monotono	1	1
			Trabajo muy monotono	4	4
			<b>J Tedio</b>		
			Trabajo algo aburrido	0	0
			Trabajo aburrido	2	1
			Trabajo muy aburrido	5	2

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo*. p. 228.

Se puede obtener de la tabla anterior las tolerancias que aplican a las diferentes actividades que se realizan en las secciones de la máquina

corrugadora de cartón. Con base en ésta se estandarizan los suplementos para cada operación que se realice.

Tabla III. **Tolerancias**

<b>Tolerancia</b>	<b>%</b>
Suplementos por necesidades personales	5
Suplementos base por fatiga	4
Suplementos por trabajo de pie	2
Uso de fuerza muscular (10 kg)	3
Trabajo muy monótono	4
Total	18

Fuente: elaboración propia.

### **2.3.2. Estudio de tiempos y diagrama de fabricación para las secciones B, C y doble**

Este estudio desglosará para cada sección de la máquina corrugadora un análisis de toma de tiempos que permitirá conocer la productividad actual en cada una de ellas; también, se realizarán los diagramas de fabricación para conocer como es el proceso que atraviesa el papel liner en cada una de estas secciones.

#### **2.3.2.1. Estudio de tiempos**

Las tablas contienen los resultados del estudio de tiempos cronometrados durante la preparación de las tres secciones de la máquina corrugadora. Estas operaciones se realizan una sola vez en todo el proceso de fabricación.

Tabla IV. Estudio de tiempos en la sección C

Toma de tiempos Elaborado: Br. Jimmy Velásquez Supervisó: Lic. Johnny Gudiel Departamento: Área de corrugación																		
CAISA, S.A Método: Actual Fecha: Mayo de 2018 Hoja: 1/1																		
																		
Turno: Único Ritmo de producción:																		
Actividad	Toma de tiempos												Calif %	TN	Sup %	No. Op	TE (min)	Observaciones
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	TC							
1. Operario corta y quita la primera capa de papel	1,5	1,48	2,12	1,59	1,55	2,04	2,15	2,21	2,11	2,07	1,88	90	1,69	18	1	1,95	El operario inspecciona las condiciones de la bobina de papel	
2. Se desliza bobina de papel en banda transportadora hasta porta bobina	0,55	0,47	0,52	0,59	0,44	1,02	0,54	1,02	0,45	0,47	0,61	85	0,52	18	1	0,59	El operario presiona un botón para deslizar la bobina de papel	
3. Operario ensambla bobina de papel en porta bobinas	1,05	0,59	0,55	1,07	0,59	1,05	1,07	0,56	0,58	1,05	0,82	90	0,73	18	1	0,84	Operario presiona botón para descender brazos sujetadores	
4. Operario alinea y ajusta bobina de papel	2,21	2,11	1,58	1,52	2,25	2,15	2,35	1,55	2,20	2,17	1,55	85	1,32	18	1	1,52	De forma visual se alinea la bobina respecto de la otra	
5. Operario desenrolla y corta hoja de papel de la bobina	0,54	0,59	1,31	1,27	1,09	1,02	1,15	1,19	1,21	1,23	1,06	90	0,95	18	1	1,10		
6. Se coloca cinta adhesiva al papel, se pega a los empalmadores y se corta el exceso o sobrante	2,44	2,55	2,57	3,09	3,15	2,59	3,1	3,04	2,57	3,11	2,82	85	2,40	18	1	2,76	De forma manual se une el papel nuevo	

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Estudio de tiempos en la sección B

Toma de tiempos Elaborado: Br. Jimmy Velásquez Supervisó: Lic. Johnny Gudiel Departamento: Área de corrugación																	
CAISA, S.A Método: Actual Fecha: Mayo de 2018																	
Turno: Único Hoja: 1/1																	
Actividad	Toma de tiempos											Calif %	TN	Sup %	No. Op	TE (min)	Observaciones
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	TC						
1. Operario corta y quita la primera capa de papel	1,55	2,13	1,58	2,14	2,11	2,13	2,12	1,55	1,58	1,54	1,84	95	1,75	18	1	2,01	El operario inspecciona las condiciones de la bobina de papel
2. Se desliza bobina de papel en banda transportadora hasta los cilindros hidráulicos	0,55	0,56	1,03	0,52	0,53	0,59	1,04	0,58	0,59	1,09	0,71	85	0,60	18	1	0,69	El operario presiona un botón para deslizar la bobina de papel
3. Operario carga bobina de papel en cilindros hidráulicos	1,4	1,41	1,5	1,48	1,44	1,47	1,5	1,44	1,49	1,55	1,47	95	1,39	18	1	1,60	Operario presiona botón para descender brazos sujetadores
4. Operario alinea y ajusta bobina de papel	2,55	2,5	59	3,01	2,57	2,59	2,55	3,04	3,09	2,55	8,35	90	7,51	18	1	8,64	De forma visual se alinea la bobina respecto de la otra
5. Operario desenrolla y corta esquina de la hoja de papel de la bobina	1,09	1,11	1,04	0,55	0,59	1,21	1,11	1,11	1,15	0,59	0,96	95	0,91	18	1	1,04	
6. Se coloca cinta adhesiva al papel, se pega a los empalmadores y se corta el exceso o sobrante	1,22	1,22	1,2	1,21	1,2	1,19	1,2	1,21	1,23	1,22	1,21	90	1,09	18	1	1,25	De forma manual se une el papel nuevo

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Estudio de tiempos en la sección doble

Toma de tiempos Elaborado: Br. Jimmy Velásquez Superviso: Lic. Johnny Gudiel Departamento: Área de corrugación																	
CAISA, S.A Método: Actual Fecha: Mayo de 2018 Hoja: 1/1																	
																	
Turno: Único Ritmo de producción: Tiempo: Minutos																	
Actividad	Toma de tiempos											Calif %	TN	Sup %	No. Op	TE (min)	Observaciones
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	TC						
1. Operario corta y quita la primera capa de papel	1,44	1,4	1,55	1,38	1,44	1,49	1,52	1,38	1,44	1,49	1,45	90	1,31	18	1	1,50	El operario inspecciona las condiciones de la bobina de papel
2. Se desliza bobina de papel en banda transportadora hasta los cilindros hidráulicos	0,55	0,52	0,51	0,5	0,55	0,54	0,53	0,52	1,04	0,59	0,59	85	0,50	18	1	0,57	El operario presiona un botón para deslizar la bobina de papel
3. Operario carga bobina de papel en cilindros hidráulicos	1,4	1,38	1,38	1,39	1,35	1,38	1,41	1,44	1,4	1,39	1,39	90	1,25	18	1	1,44	Operario presiona botón para descender brazos sujetadores
4. Operario alinea y ajusta bobina de papel	2,5	2,55	2,5	2,51	2,54	2,59	2,51	2,52	2,58	2,59	2,54	85	2,16	18	1	2,48	De forma visual se alinea la bobina respecto de la otra
5. Operario desenrolla y corta esquina de la hoja de papel de la bobina	0,51	0,54	0,52	0,59	0,58	0,55	1,03	1,01	0,55	0,59	0,65	90	0,58	18	1	0,67	
6. Se coloca cinta adhesiva al papel, se pega a los empalmadores y se corta el exceso o sobrante	1,21	1,23	1,21	1,22	1,24	1,23	1,25	1,21	1,22	1,23	1,23	85	1,04	18	1	1,20	De forma manual se une el papel nuevo

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se realizó un estudio por separado para demostrar que la parte de los cilindros hidráulicos es la que más tiempo consume.

Tabla VII. **Operación con más tiempo en la sección C**

Actividad		Toma de tiempos											Calif %	TN	Sup %	No. Op	TE (min)	Observaciones
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	TC						
1. Empalmadores		2,44	2,55	2,57	3,09	3,15	2,59	3,1	3,04	2,57	3,11	2,82	90	2,5389	18	1	3,69	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
2. Ajustes en cilindros hidráulicos		7,17	8,21	5,44	6,32	8,11	6,4	5,45	6,55	6,48	7,12	6,73	80	5,38	18	1	6,53	Paros ocasionales
3. Freno Aire		0,21	0,11	0,15	0,17	0,12	0,12	0,17	0,19	0,13	0,14	0,151	90	0,1359	18	1	1,29	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
4. Medicion temperatura		0,1	0,15	0,17	0,19	0,21	0,15	0,17	0,18	0,11	0,12	0,16	90	0,1395	18	1	1,29	Solo se realiza una vez en todo el ciclo

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Operación con más tiempo en la sección B**

Actividad		Toma de tiempos											Calif %	TN	Sup %	No. Op	TE (min)	Observaciones
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	TC						
1. Empalmadores		2,56	3,09	3,11	3,02	3,09	2,56	2,59	3,15	3,11	3,09	2,94	90	2,6433	18	1	3,79	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
2. Ajustes en cilindros hidráulicos		8,21	6,32	4,25	6,5	5,32	6,44	5,21	4,43	7,21	7,05	6,09	80	4,8752	18	1	6,03	Paros ocasionales
3. Freno Aire		0,11	0,13	0,14	0,13	0,7	0,11	0,21	0,12	0,9	0,12	0,267	90	0,2403	18	1	1,39	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
4. Medicion temperatura		0,14	0,11	0,8	0,21	0,17	0,14	0,19	0,12	0,13	0,9	0,30	90	0,274	18	1	1,42	Solo se realiza una vez en todo el ciclo

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Operación con más tiempo en la sección doble**

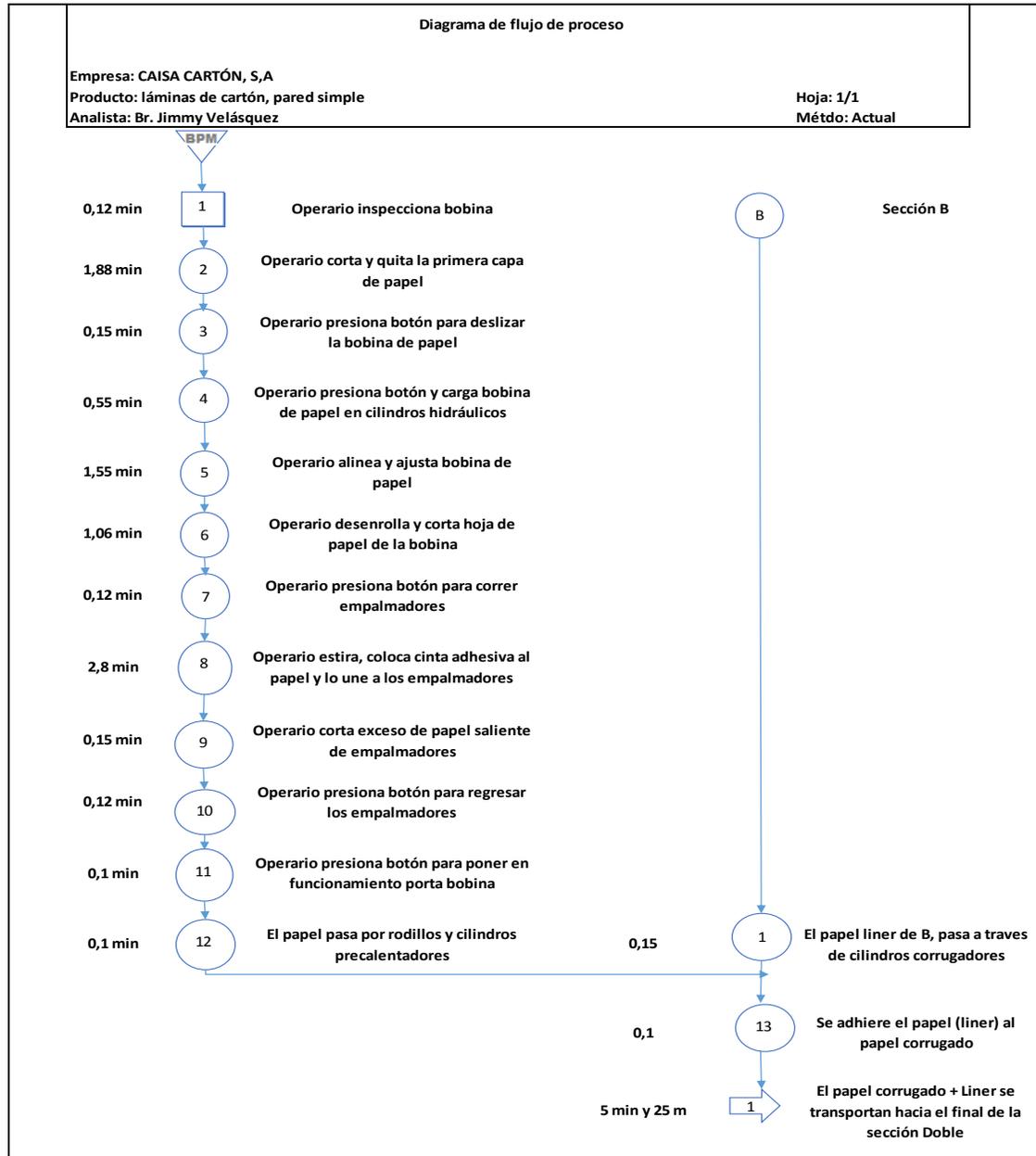
Toma de tiempos Elaborado: Br. Jimmy Velásquez Supervisó: Lic. Johnny Gudiel Supervisó: Lic. Johnny Gudiel																	
CAISA, S.A Método: Actual Fecha: Mayo de 2018 Hoja: 1/1																	
Turno: Único Ritmo de producción:																	
Actividad	Toma de tiempos											Calif %	TN	Sup %	No. Op	TE (min)	Observaciones
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	TC						
1. Empalmadores	2,57	3,05	3,11	2,59	3,03	3,05	3,1	2,55	2,59	3,09	2,87	85	2,44	18	1	2,81	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
2. Ajustes en cilindros hidráulicos	5,54	6,41	5,46	6,33	9,22	9	5,12	6,81	5,31	5,52	6,47	80	5,178	18	1	6,33	Paros ocasionales
3. Freno Aire	0,1	0,8	0,9	0,6	0,7	0,5	0,9	0,12	0,11	0,1	0,483	90	0,435	18	1	1,58	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
4. Medición temperatura	0,9	0,14	0,11	0,21	0,15	0,12	0,8	0,9	0,11	0,15	0,36	90	0,323	18	1	1,47	Solo se realiza una vez en todo el ciclo

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.2.2. Diagramas de fabricación

A continuación, se muestran los diagramas de cada sección de fabricación.

Figura 16. Diagrama de flujo en sección C

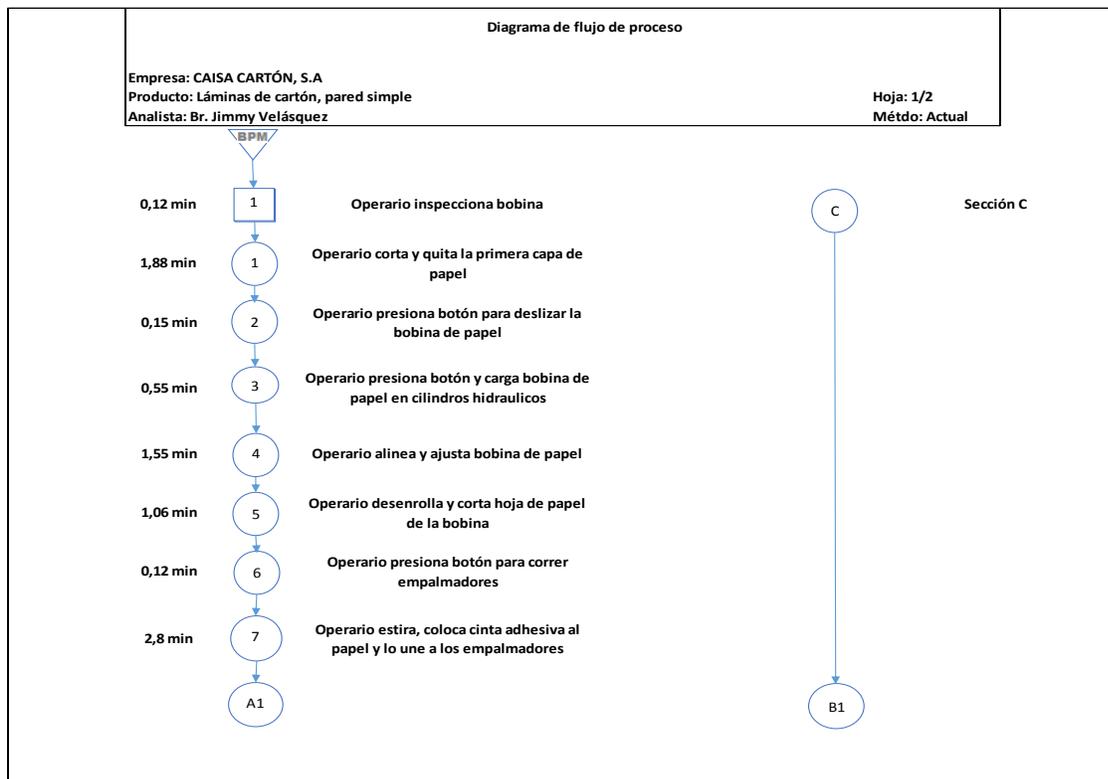


Continuación de la figura 16.

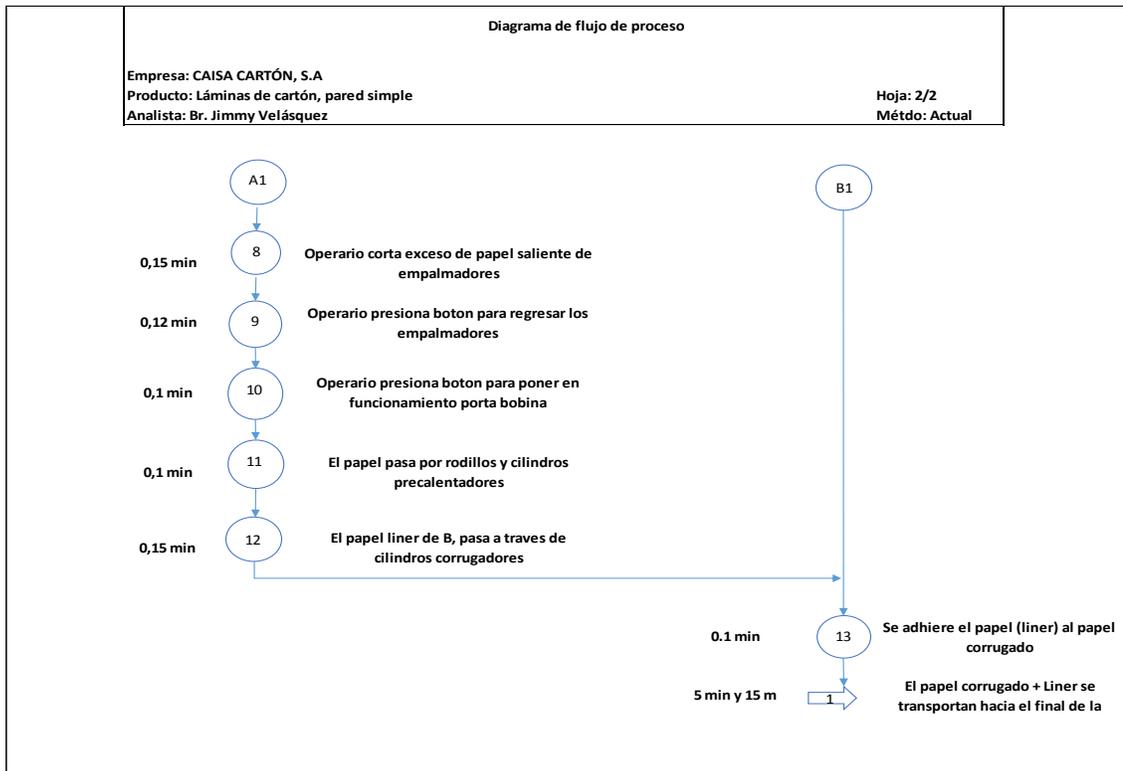
Eventos	Dibujo	Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (m)
Operación		13	8,83	
Inspección		1	0,12	
Inspección y operación				
Transporte		1	5	25
Bienes entrantes		1		
<b>Total</b>		16	13,95	25

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Diagrama de flujo en sección B



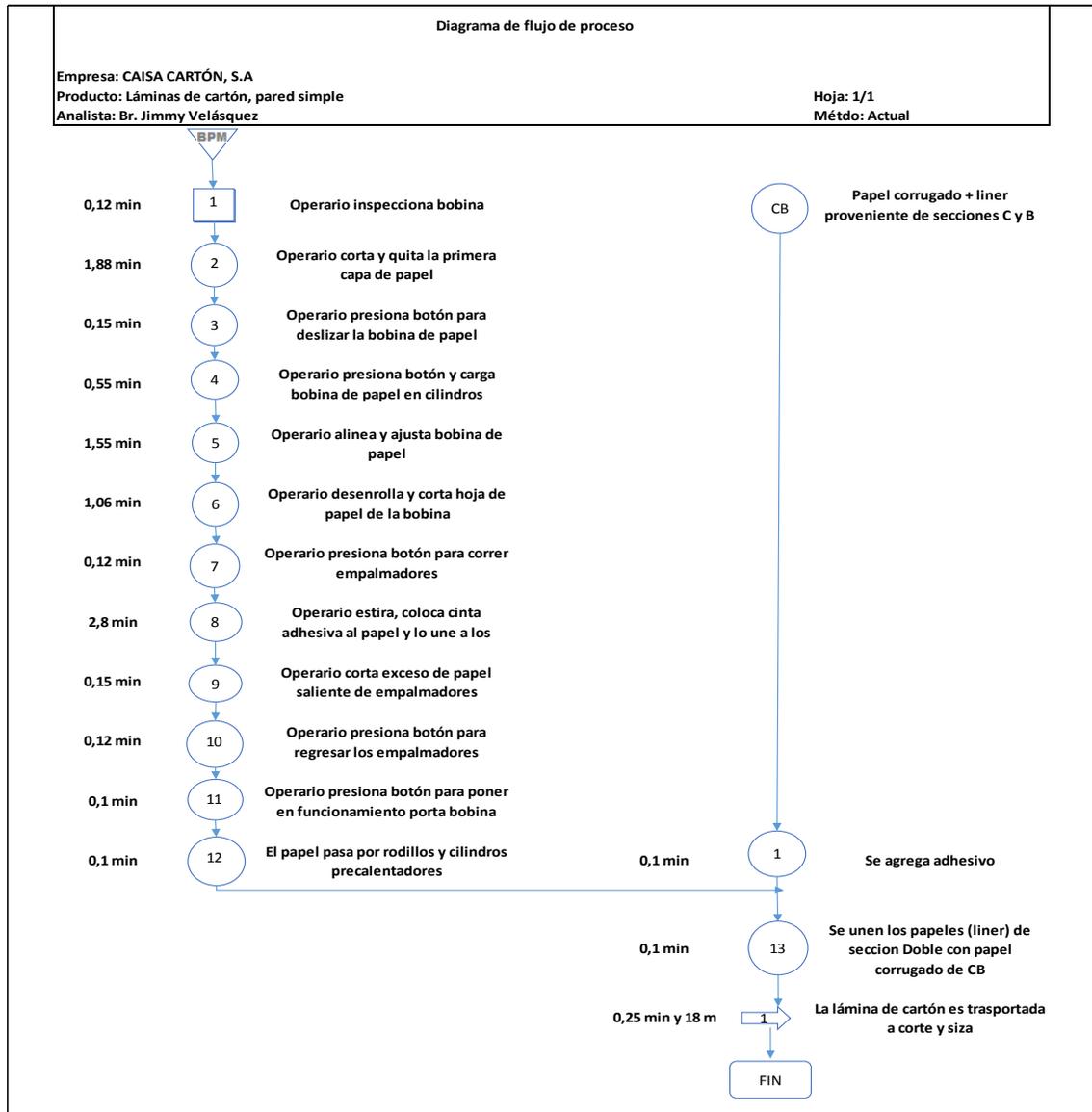
Continuación de la figura 17.



Eventos	Dibujo	Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (m)
Operación		13	8.83	
Inspección		1	0.12	
Inspección y operación				
Transporte		1	5	15
Bienes entrantes				
<b>Total</b>		15	13.95	15

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Diagrama de flujo en sección doble



Continuación de la figura 18.

Eventos	Dibujo	Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (m)
Operación		13	8,83	
Inspección		1	0,12	
Inspección y operación				
Transporte		1	0,25	18
Bienes entrantes				
Total		15	9,2	18

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.2.3. Diagramas hombre-máquina

Este estudio consiste en analizar, diagramar y cuantificar cada una de las actividades que el operador realiza con el fin mejorar una estación de trabajo.

En este análisis se hizo un diagrama para cada sección de la máquina corrugadora, el procedimiento de montar la bobina de papel, poner en marcha y desmontar es el mismo en cada una.

En cada sección existe un operador y un asistente para apoyar en las labores que allí se requiera. Una breve explicación ayudará a entender las actividades que el operario realiza: el operador empieza por inspeccionar la bobina de papel; seguidamente, corta y quita una capa de papel, ensambla la bobina en porta bobinas, corta y quita una diagonal del papel para poder ensamblarla en los empalmadores, ajusta y pega la hoja, hace retroceder los

ensambladores y pone en marcha el sistema para que el papel empiece a ser estirado y corrugado.

El trabajo del ayudante de operador es colocar bobinas de papel en los otros porta bobinas para que estén listos cuando exista un cambio de papel.

A continuación, se muestran los diagramas con el método actual.

Tabla X. Diagrama hombre-máquina, sección C

Maquina corrugadora				Operario		Ayudante de Operario			
Operación en Porta bobina 1	Tiempo	Operación en Porta bobina 2	Tiempo	Operación	Tiempo	Operación	Tiempo		
Porta Bobina 1 descarga tubo de papel	0,0075	Tiempo Muerto	7,9065	Presiona boton para descarga tubo de papel de Porta Bobina 1	0,0075	Ocio	0,5908		
Tiempo Muerto	1,7458			Agrega adhesivo a resto de papel	0,5833	Inspecciona bobina 1	0,0075	Corta y quita la primera capa de papel	1,88
				Desliza tubo de papel por banda transportadora y almacena	0,0025				
				Inspecciona Orden de producción	1				
				Inspecciona medidores de temperaturas	0,16				
				Inspecciona cilindros hidraulicos	0,416				
Porta Bobina 1 carga nueva bobina de papel	0,0092			Inspecciona cilindros corrugadores	0,75	Desliza bobina por banda transportadora	0,0025	Presiona boton y carga bobina de papel en Porta bobina 1	0,0092
Alineación y ajuste de bobina de papel en Porta Bobina 1	1,55			Inspecciona el almidon de maiz	0,25	Alinea y ajusta bobina de papel	1,55	Desenrolla y corta hoja de papel de la bobina	1,06
Tiempo Muerto	1,06			Ocio	2,8065	Presiona boton para correr empalmadores	0,002	Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a los empalmadores	2,8
Corrimiento de empalmadores	0,002					Corta exceso de papel saliente de empalmadores	0,0025		
Tiempo Muerto	2,8025	Presiona boton para regresar los empalmadores	0,002						
Regreso de empalmadores	0,002								

Continuación de la figura X.

Maquina corrugadora				Operario		Ayudante de Operario	
Operación en Porta bobina 1	Tiempo	Operación en Porta bobina 2	Tiempo	Operación	Tiempo	Operación	Tiempo
Desenrollado de papel para corrugado	35	Tiempo muerto	3	Pone en funcionamiento porta bobina 1	0,0016	Ocio	3
				Incrementa la velocidad de la maquina	0,416		
		Porta Bobina 2 descarga tubo de papel	0,0075	Revisa corrugado del papel	1,5	Se traslada y presiona botón para bajar bobina de papel restante de Porta Bobina 2	0,0075
		Tiempo Muerto	2,99	Revisa cilindros hidraulicos	0,416	Agrega adhesivo a bobina 2 de papel restante, desliza y almacena	1,1
						Inspecciona bobina 2	0,0075
				Ocio	1,90	Corta y quita la primera capa de papel	1,88
						Presiona botón para deslizar la bobina de papel 2	0,0025
		Porta Bobina 2 carga nueva bibina de	0,0092	Presiona botón y carga bobina de papel 2 en cilindros	0,0092		
		Alineación y ajuste de bobina de papel en Porta Bobina 1	1,55	Revisa medidores de presión	1,5	Alinea y ajusta bobina de papel 2	1,55
		Tiempo Muerto	1,06	Ocio	1,18	Desenrolla y corta hoja de papel de la bobina 2	1,06
		Corrimiento de empalmadores	0,002			Presiona botón para correr empalmadores 2	0,12
		Tiempo Muerto	2,8025	Revisa papel corrugado	1,5	Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a los empalmadores 2	2,8
				Revisa medidores de temperatura	0,16	Corta exceso de papel saliente de empalmadores 2	0,0025
		Regreso de empalmadores	0,002	Ocio	0,5	Presiona boton para regresar los empalmadores 2	0,002
		Tiempo muerto	5,00	Revisa corrugado un par de veces	5	Asiste en otras labores	5,00
Ocio	16,46			Ocio	35,00		

Continuación de la figura X.

<b>Tabla resumen (Tiempo en minutos)</b>	
<b>Tiempo trabajo Operador</b>	<b>9,2405</b>
<b>Tiempo Ocio Operador</b>	<b>27,85</b>

<b>Tabla resumen</b>	
<b>Tiempo trabajo Ayudante operador</b>	<b>20,86</b>
<b>Tiempo Ocio Ayudante operador</b>	<b>38,59</b>

<b>Tabla resumen</b>	
<b>Tiempo Trabajo sección Porta bobina 1</b>	<b>36,5707</b>
<b>Tiempo ocio sección Porta bobina 1</b>	<b>5,6083</b>
<b>Tiempo Trabajo sección Porta bobina 2</b>	<b>1,5707</b>
<b>Tiempo ocio sección Porta bobina 2</b>	<b>23,18</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Diagrama hombre-máquina, sección B

CAISA, CARTÓN, S.A									
Elaborado: Br. Jimmy Velásquez				Metodo: Actual					
Supervisó: Lic. Johnny Gudiel				Diagrama Hombre-Máquina Turno: Único					
Departamento: Área de corrugación				Fecha: Mayo de 2018		Sección: B			
				Hoja: 1/2		Corrugado Simple			
Máquina corrugadora				Operario		Ayudante de Operario			
Operación en Porta bobina 3	Tiempo	Operación en Porta bobina 4	Tiempo	Operación	Tiempo	Operación	Tiempo		
Porta Bobina 3 descarga tubo de papel	0,008	Tiempo muerto	1,89	Presiona botón para descarga tubo de papel de Porta Bobina 3	0,008	Inspecciona bobina 4	0,008		
Tiempo muerto	0,586			Agrega adhesivo a resto de papel	0,583	Corta y quita la primera capa de papel	1,88		
				Desliza tubo de papel por banda transportadora y almacena	0,003	Desliza bobina por banda transportadora	0,003		
				Porta Bobina 4 carga nueva bobina de papel	0,009	Inspecciona Orden de producción	1	Presiona botón y carga bobina de papel en Porta bobina 4	0,009
				Alineación y ajuste de bobina de papel en Porta Bobina	1,55	Inspecciona cilindros corrugadores	0,75	Alinea y ajusta bobina de papel	1,55
				Tiempo muerto	1,06	Inspecciona el almidón de maíz	0,25	Desenrolla y corta hoja de papel de la	1,06
				Corrimiento de empalmadores	0,002	Desenrolla y corta hoja de papel de la bobina	1,06	Presiona botón para correr empalmadores	0,002
Corrimiento de empalmadores	0,002	Tiempo muerto	2,803	Presiona botón para correr empalmadores	0,002	Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a	2,8		
Tiempo muerto	2,803			Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a los empalmadores	2,8	Corta exceso de papel saliente de empalmadores	0,003		
				Regreso de empalmadores	0,002	Corta exceso de papel saliente de empalmadores	0,003	Presiona boton para regresar los empalmadores	0,002
Regreso de empalmadores	0,002	Tiempo muerto	3	Presiona botón para regresar los empalmadores	0,002	Ocio	3		
Densenrollo de papel para corrugado				Pone en funcionamiento porta bobina 3	0,002				
				Revisa corrugado del papel	1,5				
				Ocio	3				

Continuación de la tabla XI.

CAISA, CARTÓN, S.A							
Elaborado: Br. Jimmy Velásquez				Metodo: Actual			
Supervisó: Lic. Johnny Gudiel				Diagrama Hombre-Máquina Turno: Único			
Departamento: Área de corrugación				Fecha: Mayo de 2018		Sección: B	
				Hoja: 2/2		Corrugado Simple	
Máquina corrugadora				Operario		Ayudante de Operario	
Operación en Porta bobina 3	Tiempo	Operación en Porta bobina 4	Tiempo	Operación	Tiempo	Operación	Tiempo
Densenrollo de papel para corrugado	35	Tiempo muerto	35	Realiza tareas de limpieza	10	Realiza limpieza	11
				Ocio	25	Ocio	24
				Aplica frenos de aire y reduce la velocidad	0,416		
				Inicia a operar bobina 4	0,162		

Tabla resumen (tiempo en minutos)	
Tiempo trabajo Operador	17,039
Tiempo Ocio Operador	28,00

Tabla resumen	
Tiempo trabajo Ayudante operador	18,32
Tiempo Ocio Ayudante operador	27,00

Tabla resumen	
Tiempo trabajo sección porta bobina 3	35,01
Tiempo muerto sección porta bobina 3	3,388
Tiempo trabajo sección porta bobina 4	1,563
Tiempo muerto sección porta bobina 4	43,75

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Diagrama hombre-máquina, sección doble

CAISA, CARTÓN, S.A.									
Elaborado: Br. Jimmy Velásquez Supervisó: Lic. Johnny Gudiel Departamento: Área de corrugación				Metodo: Actual Diagrama Hombre-Máquina Fecha: Mayo de 2018 Hoja: 1/2		Turno: Único Sección: Doble Corrugado Simple			
Maquina corrugadora				Operario		Ayudante de Operario			
Operación en Porta bobina 9	Tiempo	Operación en Porta bobina 10	Tiempo	Operación	Tiempo	Operación	Tiempo		
Porta Bobina 1 descarga tubo de papel	0,008	Tiempo Muerto	2,4808	Presiona botón para descarga tubo de papel de Porta Bobina 9	0,008	Ocio	0,5908		
				Agrega adhesivo a resto de papel	0,583				
				Desliza tubo de papel por banda transportadora y almacena	0,003			Inspecciona bobina 10	0,0075
				Inspecciona Orden de producción	1			Corta y quita la primera capa de papel	1,88
				Inspecciona medidores de temperaturas	0,16			Desliza bobina por banda transportadora	0,0025
	3,636		Porta Bobina 10 carga nueva bobina de papel	0,0092	Inspecciona bobina 9	0,008	Presiona boton y carga bobina de papel en Porta bobina 10	0,0092	
				Tiempo Muerto	2,61	Corta y quita la primera capa de papel	1,88	Alinea y ajusta bobina de papel	1,55
						Desliza bobina por banda transportadora	0,003	Desenrolla y corta hoja de papel de la bobina	1,06
						Porta Bobina 9 carga nueva bobina de	0,009	Presiona botón y carga bobina de papel en Porta	0,009
Alineación y ajuste de bobina de papel en Porta Bobina			1,55	Tiempo muerto	2,8025	Alinea y ajusta bobina de papel	1,55	Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a los empalmadores	2,8
Tiempo Muerto	1,06	Desenrolla y corta hoja de papel de la bobina	1,06			Corta exceso de papel saliente de empalmadores	0,0025		
Corrimiento de empalmador	0,009	Regreso de empalmadores	0,002	Presiona boton para correr empalmadores	0,002	Presiona botón para regresar los empalmadores	0,002		
Alineación y ajuste de bobina de	1,55	Tiempo Muerto	2,8025	Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a los	2,8	Realiza labores de limpieza	10		
Tiempo Muerto	0,003			Corta exceso de papel saliente de empalmadores	0,003	Ocio	4		

Continuación de la tabla XII.

CAISA, CARTÓN, S.A							
Elaborado: Br. Jimmy Velásquez				Metodo: Actual			
Supervisó: Lic. Johnny Gudiel				Diagrama Hombre-Máquina		Turno: Único	
Departamento: Área de corrugación				Fecha: Mayo de 2018		Sección: Doble	
				Hoja: 2/2		Corrugado Simple	
Maquina corrugadora				Operario		Ayudante de Operario	
Operación en Porta bobina 9	Tiempo	Operación en Porta bobina 10	Tiempo	Operación	Tiempo	Operación	Tiempo
Regreso de empalmadores	0,002	Tiempo Muerto	35,002	Presiona botón para regresar los empalmadores	0,002	Realiza tareas de limpieza	3
Densarrollo de papel para corrugado	35			Pone en funcionamiento porta bobina 1	0,002	Ocio	32,002
				Revisa papel que pasa por cilindros	1		
				Realiza labores de limpieza	12		
				Ocio	22,00		
		Inicia a operar porta bobina 10		Aplica frenos de aire y reduce la velocidad	0,416		
				Presiona botón para hacer el cambio de papel	0,162		

Tabla resumen (tiempo en minutos)	
Tiempo trabajo Operador	22,65
Tiempo Ocio Operador	22,00

Tabla resumen	
Tiempo trabajo Ayudante operador	20,32
Tiempo Ocio Ayudante operador	36,59

Tabla resumen	
Tiempo Trabajo sección Porta bobina 9	38,13
Tiempo muerto sección Porta bobina 9	4,698
Tiempo Trabajo sección Porta bobina 10	0,02
Tiempo muerto sección Porta bobina 10	45,70

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestran los diagramas con el método propuesto:

Tabla XIII. Diagrama hombre-máquina, sección C – mejorado

Máquina corrugadora		Operario			
Operación en Porta bobina 1	Tiempo	Operación en Porta bobina 2	Tiempo	Operación	Tiempo
Porta Bobina 1 descarga tubo de papel	0,008			Presiona botón para descarga tubo de papel de Porta Bobina 1	0,0075
				Agrega adhesivo a resto de papel	0,5833
				Desliza tubo de papel por banda transportadora y almacena	0,0025
				Inspecciona Orden de producción	1
				Inspecciona medidores de temperaturas	0,16
				Inspecciona cilindros hidráulicos	0,416
Tiempo Muerto	5,052	Tiempo Muerto	5,0685	Inspecciona cilindros corrugadores	0,75
				Inspecciona el almidón de maíz	0,25
				Inspecciona bobina 1	0,0075
				Corta y quita la primera capa de papel	1,88
				Desliza bobina por banda transportadora	0,0025
Corrimiento de empalmadores	0,002			Presiona botón y carga bobina de papel en Porta bobina 1	0,0092

Continuación de la tabla XIII.

Máquina corrugadora		Operario			
Operación en Porta bobina 1	Tiempo	Operación en Porta bobina 2	Tiempo	Operación	Tiempo
				Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a los empalmadores	2,8
				Corta exceso de papel saliente de empalmadores	0,0025
Regreso de empalmadores	0,002			Presiona botón para regresar los empalmadores	0,002
		<b>Tiempo Muerto</b>	<b>5,1381</b>	Pone en funcionamiento porta bobina 1	0,0016
				Incrementa la velocidad de la máquina corrugadora lentamente	0,416
				Revisa corrugado del papel	1,5
				Revisa cilindros hidráulicos	0,416
		Porta Bobina 2 descarga tubo de papel	0,0075	Se traslada y presiona botón para bajar bobina de papel restante de Porta Bobina 2	0,0075
				Agrega adhesivo a bobina 2 de papel restante, desliza y almacena	1,1
<b>Densarrollo de papel para corrugado</b>	<b>35</b>	<b>Tiempo Muerto</b>	<b>2,99</b>	Inspecciona bobina 2	0,0075
				Corta y quita la primera capa de papel	1,88
				Presiona boton para deslizar la bobina de papel 2	0,0025
		Porta Bobina 2 carga nueva bobina de papel	0,0092	Presiona boton y carga bobina de papel 2 en cilindros hidráulicos	0,0092
		Alineación y ajuste de bobina de papel en Porta Bobina 1	1,55	Alinea y ajusta bobina de papel 2	1,55
		<b>Tiempo Muerto</b>	<b>1,06</b>	Desenrolla y corta hoja de papel de la bobina 2	1,06
		Corrimiento de empalmadores	0,002	Presiona botón para correr empalmadores 2	0,12

Continuación de la tabla XIII.

<b>Metodo: Propuesto</b> <b>Diagrama Hombre-Máquina</b> <b>Turno: Único</b> <b>Fecha: Mayo de 2018</b> <b>Sección: C</b> <b>Corrugado Simple</b>					
<b>Elaborado: Br. Jimmy Velásquez</b> <b>Supervisó: Lic. Johnny Gudiel</b> <b>Departamento: Área de corrugación</b>		<b>Hoja: 3/3</b>			
Máquina corrugadora				Operario	
Operación en Porta bobina 1	Tiempo	Operación en Porta bobina 2	Tiempo	Operación	Tiempo

Densamiento de papel para corrugado		<b>Tiempo Muerto</b>	<b>2,8025</b>	Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a los empalmadores 2	2,8
				Corta exceso de papel saliente de empalmadores 2	0,0025
		Regreso de empalmadores	0,002	Presiona boton para regresar los empalmadores 2	0,002
		<b>Tiempo Muerto</b>	<b>24,125</b>	se traslda y revisa papel corrugado	1,5
				Revisa medidores de presión	1,5
				Revisa corrugado un varias veces mas	7
				Revisa medidores de temperatura	0,16
				Ocio (espera hasta que se haga el nuevo cambio de papel)	13,97
			Aplica frenos de aire y reduce la velocidad	0,416	21
	Inicia a trabajar bobina 2		Presiona botón para hacer el cambio de papel	0,1616	

Tiempo trabajo Operador	26,7
Tiempo Ocio Operador	13,97

Tiempo Trabajo sección Porta bobina 1	35,0095
Tiempo ocio sección Porta bobina 1	5,0518
Tiempo Trabajo sección Porta bobina 2	1,5707
Tiempo ocio sección Porta bobina 2	36,05

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Diagrama hombre-máquina, sección B – mejorado

CAISA, CARTÓN, S.A					
Elaborado: Br. Jimmy Velásquez		Metodo: Propuesto		Turno: Único	
Supervisó: Lic. Johnny Gudiel		Diagrama Hombre-Máquina		Sección: B	
Departamento: Área de corrugación		Fecha: Mayo de 2018		Hoja: 1/2	
Máquina corrugadora		Operario			
Operación en Porta bobina 3	Tiempo	Operación en Porta bobina 4	Tiempo	Operación	Tiempo
Porta Bobina 3 descarga tubo de papel	0,0075	Tiempo muerto	7,969	Presiona botón para descarga tubo de papel de Porta Bobina 3	0,0075
Tiempo muerto	3,6458			Agrega adhesivo a resto de papel	0,5833
				Desliza tubo de papel por banda transportadora y almacena	0,0025
				Inspecciona Orden de producción	1
				Inspecciona cilindros corrugadores	0,75
				Inspecciona el almidón de maíz	0,25
Desenrolla y corta hoja de papel de la bobina	1,06				
Corrimiento de empalmadores	0,002			Presiona botón para correr empalmadores en bobina 3	0,002
Tiempo muerto	2,8025			Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a los empalmadores	2,8
Regreso de empalmadores	0,002			Corta exceso de papel saliente de empalmadores	0,0025
		Presiona botón para regresar los empalmadores en Bobina 3	0,002		
		Pone en funcionamiento porta bobina 3	0,0016		
Densenrollo de papel para corrugado		Revisa corrugado del papel	1,5		
		Se traslada e inspecciona bobina 4	0,0075		

Continuación de la tabla XIV.

CAISA, CARTÓN, S.A					
Elaborado: Br. Jimmy Velásquez		Metodo: Propuesto		Turno: Único	
Supervisó: Lic. Johnny Gudiel		Diagrama Hombre-Máquina		Fecha: Mayo de 2018	
Departamento: Área de corrugación		Hoja: 2/2		Sección: B	
Máquina corrugadora			Operario		
Operación en Porta bobina 3	Tiempo	Operación en Porta bobina 4	Tiempo	Operación	Tiempo
Densenrollo de papel para corrugado	35	Tiempo muerto	1,883	Corta y quita la primera capa de papel	1,88
				Desliza bobina por banda transportadora	0,0025
		Porta Bobina 4 carga nueva bobina de papel	0,009	Presiona botón y carga bobina de papel en Porta bobina 4	0,0092
		Corrimiento de empalmadores	0,002	Alinea y ajusta bobina de papel en Bobina 4	1,55
		Tiempo muerto	1,06	Desenrolla y corta hoja de papel de la bobina	1,06
		Regreso de empalmadores	0,002	Presiona botón para correr empalmadores	0,002
		Tiempo muerto	2,803	Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a los empalmadores	2,8
				Corta exceso de papel saliente de empalmadores	0,0025
		Regreso de empalmadores	0,002	Presiona botón para regresar los empalmadores en Bobina4	0,002
		Tiempo muerto	27,69	Realiza labores de limpieza	15
		Ocio (espera para hacer el proximo cambio de papel)	12,692		
		Inicia a operar bobina 4		Aplica frenos de aire y reduce la velocidad	0,416
				Presiona boton para hacer el cambio de papel	0,1616

Tabla resumen (Tiempo en minutos)	
Tiempo trabajo Operador	30,8547
Tiempo Ocio Operador	12,69

Tabla resumen	
Tiempo Trabajo sección Porta bobina 3	35,012
Tiempo muerto sección Porta bobina 3	6,4483
Tiempo Trabajo sección Porta bobina 4	1,8885
Tiempo muerto sección Porta bobina 4	39,53

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV.

**Diagrama hombre-máquina, sección doble – mejorado**

				CAISA, CARTÓN, S.A 	
Elaborado: Br. Jimmy Velásquez		Metodo: Propuesto		Turno: Único	
Supervisó: Lic. Johnny Gudiel		Diagrama Hombre-Máquina		Sección: Doble	
Departamento: Área de corrugación		Fecha: Mayo de 2018		Hoja: 1/3	
				Corrugado Simple	
Máquina corrugadora				Operario	
Operación en Porta bobina 9	Tiempo	Operación en Porta bobina 10	Tiempo	Operación	Tiempo
Porta Bobina 1 descarga tubo de papel	0,0075	<b>Tiempo Muerto</b>	<b>3,6433</b>	Presiona botón para descarga tubo de papel de Porta Bobina 10	0,0075
<b>Tiempo Muerto</b>	<b>3,6358</b>			Agrega adhesivo a resto de papel	0,5833
				Desliza tubo de papel por banda transportadora y almacena	0,0025
				Inspecciona Orden de producción	1
				Inspecciona medidores de temperaturas	0,16
				Inspecciona bobina 10	0,0075
				Corta y quita la primera capa de papel	1,88
				Desliza bobina por banda transportadora	0,0025
Porta Bobina 9 carga nueva bobina de papel	0,0092	Porta Bobina 10 carga nueva bobina de papel	0,0092	Presiona botón y carga bobina de papel en Porta bobina 10	0,0092
Alineación y ajuste de bobina de papel en Porta Bobina 1	1,55	<b>Tiempo Muerto</b>	<b>2,61</b>	Alinea y ajusta bobina de papel	1,55
Tiempo Muerto	1,06			Desenrolla y corta hoja de papel de la bobina	1,06
Corrimiento de empalmadore	0,0092	Corrimiento de empalmadores	0,0092	Presiona botón para correr empalmadores	0,002
Alineación y ajuste de bobina de papel en Porta Bobina 1	1,55	<b>Tiempo muerto</b>	<b>2,8025</b>	Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a los empalmadores	2,8
Tiempo Muerto	0,0025			Corta exceso de papel saliente de empalmadores	0,0025

Continuación de la tabla XV.

Máquina corrugadora		Operario			
Operación en Porta bobina 9	Tiempo	Operación en Porta bobina 10	Tiempo	Operación	Tiempo
Regreso de empalmadores	0,002	Regreso de empalmadores	0,002	Presiona botón para regresar los empalmadores	0,002
Densenrollo de papel para corrugado	35	Tiempo Muerto	2,8916	Pone en funcionamiento porta bobina 10	0,0016
				Revisa papel que pasa por cilindros	1
				Inspecciona bobina 10	0,0075
				Corta y quita la primera capa de papel	1,88
				Desliza bobina por banda transportadora	0,0025
		Porta Bobina 10 carga nueva bobina de papel	0,0092	Presiona botón y carga bobina de papel en Porta bobina 10	0,0092
		Tiempo Muerto	2,61	Alinea y ajusta bobina de papel	1,55
				Desenrolla y corta hoja de papel de la bobina	1,06
		Corrimiento de empalmadores	0,0092	Presiona botón para correr empalmadores	0,002
		Tiempo muerto	2,8025	Estira, coloca cinta adhesiva al papel y lo une a los empalmadores	2,8
				Corta exceso de papel saliente de empalmadores	0,0025
		Regreso de empalmadores	0,002	Presiona boton para regresar los empalmadores	0,002
		Tiempo Muerto	26,683	Realiza labores de limpieza	13
Ocio	13,6827				

Continuación de la tabla XV.

CAISA, CARTÓN, S.A <b>Metodo: Propuesto</b>					
Elaborado: Br. Jimmy Velásquez		Diagrama Hombre-Máquina		Turno: Único	
Supervisó: Lic. Johnny Gudiel		Fecha: Mayo de 2018		Sección: Doble	
Departamento: Área de corrugación		Hoja: 3/3		Corrugado Simple	
<b>Máquina corrugadora</b>				<b>Operario</b>	
Operación en Porta bobina 9	Tiempo	Operación en Porta bobina 10	Tiempo	Operación	Tiempo
		Inicia a operar porta bobina 10		Aplica frenos de aire y reduce la velocidad	0,416
				Presiona botón para hacer el cambio de papel	0,1616

Tabla resumen (Tiempo en minutos)	
Tiempo trabajo Operador	30,9639
Tiempo Ocio Operador	13,68

Tabla resumen	
Tiempo Trabajo sección Porta bobina 9	38,1279
Tiempo ocio sección Porta bobina 9	4,6983
Tiempo Trabajo sección Porta bobina 10	0,0408
Tiempo ocio sección Porta bobina 10	44,04

Fuente: elaboración propia.

Explicación del diagrama hombre-máquina: el diagrama fue hecho durante un ciclo de trabajo, que es el tiempo en que tarda una bobina de papel trabajando hasta hacer un nuevo cambio de gramaje (calibre de papel). En promedio un ciclo puede llegar a durar hasta 100 minutos, 45 o quizá un poco menos, esto dependerá de la orden de producción. Para este estudio se utilizó un ciclo corto de 35 minutos y datos de registros del departamento de producción; en promedio, cada ciclo tarda entre 30, 45 o 60 minutos o quizá

más tiempo. Cabe resaltar que cuando son ciclos cortos (30 min variado) los metros cuadrados de papel corrugado son mucho menor.

Actualmente, en cada sección existe un operador y un ayudante. El estudio ha servido para demostrar que el tiempo que un operador tardan esperando hasta que se haga un nuevo cambio de papel es en promedio de 26 minutos y 34 minutos para el ayudante de operador, esto dependerá del pedido, debido a que mientras la bobina de papel se va desenrollando para hacer el papel corrugado, el ayudante de operador prepara la otra bobina; pero este proceso le lleva alrededor de 10 minutos y el resto del tiempo se mantiene ocioso al igual que el operador, lo que es tiempo suficiente para que pueda ser utilizado fácilmente por un solo operador para instalar, preparar y montar la siguiente bobina de papel en los porta bobinas sin necesidad de un ayudante.

En el método propuesto se hace de nuevo cada diagrama dejando un solo operador para cada estación lo cual ha demostrado que el operador tiene tiempo suficiente para preparar la bobina siguiente, montarla, hacer labores de limpieza con un ocio mucho menor. Los tiempos de ocio se redujeron de 25,95 minutos en promedio a 13,45 minutos y el tiempo de trabajo se incrementó de 16,31 a 27,5 minutos.

Otro punto importante es el tiempo muerto que tiene cada bobina la cual no está trabajando y esperando turno para operar, este tiempo muerto se debe en primer lugar a que cuando el operador prepara la bobina que va a iniciar a trabajar enfoca toda su atención y tiempo a prepararla, mientras tanto la otra bobina está en tiempo muerto debido a que debe esperar. En segundo lugar, una vez terminada de preparar la primera bobina y poniéndola a funcionar el operador se enfoca en la segunda bobina (monta prepara, entre otros) pero permanece en tiempo muerto porque esta empieza a trabajar hasta que la

primer bobina termine de corrugar y se realice el cambio a la segunda. Por lo que su tiempo muerto puede variar al igual que el del operado, dependiendo de la orden de producción.

Para la etapa de corrugado doble (5 pliegos de papel), el tiempo en promedio de ocio es similar a la etapa simple debido a que los tiempos de trabajo (máquinas) o ciclos son casi los mismos; con la diferencia de que al inicio se ponen a trabajar las bobinas 3 y 5 al mismo tiempo en la sección B y la 7 y 10 en la sección doble; este tipo de lámina que conlleva cinco pliegos de papel que son pedidos especiales para cajas de frutas, por lo que se recomienda que cuando exista este tipo de lámina se pueda contar con un asistente para que apoye cuando se requiera.

### **2.3.3. Volumen de producción actual**

La cantidad de metros cuadrados de papel corrugado por hora varía según sea el plan de producción. En ocasiones la máquina corrugadora puede trabajar un cierto tipo de papel liner por 45 minutos para hacer cantidad de láminas y luego trabajar otro tipo de papel liner por 75 minutos. Todo dependerá del tipo de papel que se tenga que corrugar.

Según datos de registros de control de producción en promedio se producen 7 431,66 metros cuadrados de papel corrugado por hora, lo que es equivalente a 111 475 metros cuadros en 15 horas de trabajo.

### **2.3.4. Productividad en las secciones B, C y doble**

La productividad en las tres secciones está relacionada una con la otra, y debido a que es un proceso continuo; lo que se procesa de la sección C se une

con el proceso de B y ambos se unen al de la sección doble. Por lo que la productividad de una sección afecta también a las otras secciones.

#### 2.3.4.1. Eficiencia en las secciones B, C y doble

Actualmente el ritmo de producción ha disminuido por factores que han retrasado el ritmo de producción. El supervisor de producción menciona que la corrugadora en buenas condiciones produce en promedio 138 000 metros cuadrados en un día de producción y por el momento según datos del departamento de producción solo se están produciendo 111 475 metros cuadrados.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{producción obtenida}}{\text{producción deseada}} \quad [\text{Ec. 4}]$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{111\,475}{138\,000} = 0,8077 = 80,77 \%$$

$$\text{Tiempo efectivo} = \frac{15 \text{ horas}}{\text{Turno}} - \frac{0,45 \text{ horas}}{\text{Almuerzo y cena}}$$

$$\text{Tiempo efectivo} = 14,55 \text{ horas}$$

$$\text{Productividad} = \frac{111\,475 \text{ m}^2}{14,55 \text{ horas hombre}}$$

$$\text{Productividad} = 7\,661,51 \text{ m}^2/\text{horas-hombre}$$

#### **2.3.4.2. Eficacia en las secciones B, C y doble**

La eficacia no es más que la capacidad de alcanzar el efecto que se espera tras la realización de una acción.

A continuación, se procede a calcular de la siguiente manera:

$$\text{Eficacia} = \left( \frac{7\,661,51\text{ m}^2}{\text{horas-hombre}} \right) * (0,8077)$$

$$\text{Eficacia} = 6\,188,20\text{ m}^2/\text{horas} - \text{hombre}$$

#### **2.4. Propuesta para diseñar un plan de optimización**

El estudio de tiempos en las tres secciones de la máquina corrugadora de cartón demostró que el proceso que más tiempo lleva son los cilindros hidráulicos, los cuales presionan los rodillos corrugadores para darle forma al corrugado del cartón.

Estos cilindros en cada sección presentan fallas y no generan la suficiente presión para hacer del papel un buen corrugado lo que ha generado demoras y paros no programados.

Luego del análisis hecho con el diagrama hombre máquina y el estudio de tiempos, se detectaron cuáles son las actividades que a los operarios les toma más tiempo realizar: los cilindros hidráulicos y el empalme manual de papel.

La propuesta consiste en realizar el cambio de cilindros hidráulicos viejos por unos de mejor calidad, así como el mantenimiento del comando electrónico de los empalmadores, debido a que al realizar estas mejoras se lograrán reducir

los tiempos de preparación y paros en producción que actualmente son cuellos de botella en el proceso de corrugación y que generan gastos para la empresa. Además, se incrementará la producción.

Seguidamente, se realizará nuevamente un estudio posterior para comparar los tiempos que se reducirán al no realizar las actividades de ensamble de papel manual ni parar la corrugadora a causa del mal corrugado provocado por los cilindros hidráulicos. Lo que se busca es hacer una comparación de estudio de tiempos para demostrar que, al realizar los cambios antes mencionados, se mejorará y se reducirán paros no programados, tiempo muerto, entre otros. Luego de esto, el tiempo que los operarios utilizaban para ensamblar el papel manual y los paros no programados a causa del mal corrugado se redujeron de manera aceptable.

En los siguientes capítulos se hace una comparación con los tiempos actuales y con los tiempos de la propuesta.

#### **2.4.1. Reducción de tiempos de preparación**

Para reducir los tiempos de preparación en cada sección de trabajo se hizo un estudio de tiempos previo en las condiciones en que se encontraba cada sección sin haber realizado los cambios de cilindros y reparación en los empalmadores. Se logró determinar para cada sección de trabajo el proceso que mayor tiempo lleva al operario realizar.

En la siguiente tabla resumen, se muestran 5 actividades que son las más importantes para la preparación del papel liner en cada sección de trabajo con los tiempos sin la propuesta.

Tabla XVI. **Promedios de las actividades que conllevan más tiempo**

<b>Tiempos de preparación para la fabricación de láminas de cartón</b> <b>Elaborado: Br. Jimmy Velásquez</b> <b>Supervisó: Lic. Johnny Gudiel    Fecha: junio 2018</b> <b>Departamento: área de corrugación</b>					
Actividad	Seccion C	Seccion B	Seccion Doble	Total (min)	Promedio
Preparación de papel Liner	1,88	2,07	1,47	5,42	1,81
Ensamble de papel en porta bobinas	0,82	1,53	1,37	3,72	1,24
Ajustes en cilindros hidráulicos	8,09	6,8	8,24	23,13	7,71
Ensamble de papel liner en empalmadores	2,82	2,94	2,87	8,63	2,88

Fuente: elaboración propia.

Con los nuevos cilindros hidráulicos y los comandos de los empalmadores arreglados se logró disminuir el tiempo de preparación y los paros nos programados a causa de los cilindros hidráulicos viejos que no ejercían la suficiente presión para corrugar el papel.

La siguiente tabla muestra los tiempos nuevos de preparación para cada sección de trabajo:

Tabla XVII. **Tiempos mejorados con método propuesto para la sección C**

Actividad		Toma de tiempos											Calif %	TN	Sup %	No. Op	TE (min)	Observaciones
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	TC						
1. Empalmadores		0,58	0,55	0,58	0,58	0,58	0,60	0,63	0,63	0,62	0,58	0,60	90	0,54	18	1	1,69	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
2. Ajustes en cilindros hidráulicos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	80	0	18	1	1,15	Paros ocasionales	
3. Freno Aire		0,2	0,1	0,8	0,12	0,11	0,9	0,1	0,12	0,15	0,1	0,27	90	0,24	18	1	1,39	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
4. Medición temperatura		0,15	0,25	0,14	0,15	0,2	0,22	0,11	0,14	0,14	0,29	0,18	90	0,16	18	1	1,31	Solo se realiza una vez en todo el ciclo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Tiempos mejorados con método propuesto para la sección B**

Actividad		Toma de tiempos											Calif %	TN	Sup %	No. Op	TE (min)	Observaciones
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	TC						
1. Empalmadores		0,5833	0,6	0,6	0,55	0,5667	0,6	0,5833	0,6	0,6333	0,5833	0,59	90	0,531	18	1	1,68	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
2. Ajustes en cilindros hidráulicos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	80	0	18	1	1,15	Paros ocasionales	
3. Freno Aire		0,15	0,12	0,21	0,17	0,12	0,13	0,11	0,17	0,15	0,13	0,146	90	0,1314	18	1	1,28	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
4. Medición temperatura		0,13	0,14	0,15	0,12	0,13	0,17	0,15	0,11	0,12	0,11	0,13	90	0,1197	18	1	1,27	Solo se realiza una vez en todo el ciclo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Tiempos mejorados con método propuesto para la sección doble**

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>CAISA, S.A</p> <p>Toma de tiempos</p> <p>Elaborado: Br. Jimmy Velásquez</p> <p>Supervisó: Lic. Johnny Gudiel</p> <p>Supervisó: Lic. Johnny Gudiel</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Método: propuesto</p> <p>Fecha: mayo de 2018</p> <p>Sección: doble</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Turno: único</p> <p>Hoja: 1/1</p> </div> <div style="text-align: right;">  </div> </div>																		
Actividad	Toma de tiempos											Calif %	TN	Sup %	No. Op	TE (min)	Observaciones	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	TC							
1. Empalmadores	0,63	0,58	0,58	0,60	0,62	0,63	0,63	0,60	0,60	0,60	0,62	0,61	85	0,52	18	1	0,60	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
2. Ajustes en cilindros hidráulicos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	80	0	18	1	1,15	Paros ocasionales
3. Freno Aire	0,1	0,8	0,9	0,6	0,7	0,5	0,9	0,12	0,11	0,1	0,48	0,48	90	0,435	18	1	1,58	Solo se realiza una vez en todo el ciclo
4. Medicion temperatura	0,13	0,15	0,19	0,12	0,17	0,21	0,19	0,12	0,14	0,15	0,16	0,16	90	0,141	18	1	1,29	Solo se realiza una vez en todo el ciclo

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla resumen se muestra una comparación de los tiempos sin la propuesta y con la propuesta ya implementada de las 5 actividades más importantes para la preparación del papel liner en cada sección de trabajo.

Tabla XX. **Tiempo promedio sin la propuesta**

<b>Tiempos de preparación para la fabricación de láminas de cartón</b> <b>Elaborado: Br. Jimmy Velásquez</b> <b>Supervisó: Lic. Johnny Gudiel    Fecha: junio 2018</b> <b>Departamento: área de corrugación</b>					
Actividad	Seccion C	Seccion B	Sección doble	Total (min)	Promedio
Preparación de papel liner	1,88	2,07	1,47	5,42	1,81
Ensamble de papel en porta bobinas	0,82	1,53	1,37	3,72	1,24
Ajustes en cilindros hidráulicos	8,09	6,8	8,24	23,13	7,71
Ensamble de papel liner en empalmadores	2,82	2,94	2,87	8,63	2,88

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Tiempos promedio con la propuesta**

<b>Tiempos de preparación mejorados para la fabricación de láminas de cartón</b> <b>Elaborado: Br. Jimmy Velásquez</b> <b>Supervisó: Lic. Johnny Gudiel    Fecha: Junio 2018</b> <b>Departamento: Área de corrugación</b>					
Actividad	Seccion C	Seccion B	Seccion Doble	Total (min)	Promedio
Preparación de papel liner	1,75	1,84	1,45	5,04	1,68
Ensamble de papel en porta bobinas	0,90	1,47	1,39	2,86	1,43
Ajustes en cilindros hidráulicos	0	0	0	0,00	0,00
Ensamble de papel liner en empalmadores	0,16	0,16	0,15	0,47	0,16

Fuente: elaboración propia.

#### **2.4.2. Volumen de producción mejorado**

Al haber realizado los cambios propuestos en cada sección, los tiempos mejoraron, y en los empalmadores de cada sección se lograron reducir los tiempos manuales de esta actividad como lo demuestra la tabla resumen XX de estar en un promedio de 2,88 minutos a 0,16 minutos. Lo que deja una reducción bastante aceptable de 2,72 minutos.

Puede parecer una disminución de tiempos muy corta, pero para esta industria tan grande como la producción de cajas de cartón, el tiempo perdido por paros o demoras suma muchos costos de producción.

En las secciones donde se instalaron nuevos cilindros hidráulicos, los tiempos por paros y demoras que tardaban los operarios corrigiendo el corrugado y volviendo a ensamblar de nuevo el papel se redujeron a cero, esto porque que los nuevos cilindros hacen una presión pareja y muy precisa en los corrugadores haciendo un corrugado de buena calidad en el papel.

Los tiempos anteriores con los cilindros hidráulicos viejos para cada sección eran de 8,09, 6,80 y 8,24 minutos; se obtiene así con el método propuesto una disminución promedio de 7,71 minutos; si a este tiempo se suma lo que se redujo en los empalmadores (2,72 min) se tiene un aprovechamiento total de 10,43 minutos. Con una producción de 7 661,51 metros cuadrados por hora lo que equivale a 127,69 metros cuadrados por minuto, y al aprovechar los 10,43 minutos se estaría produciendo 1 331,81 metros cuadrados más. Lo que aumentaría la producción por hora a 8 993,32 metros cuadrados, con una producción diaria de 134 899,8 metros cuadrados.

Esta cantidad diaria de metros cuadrados respecto a lo que se producía anteriormente (111 475 metros) tuvo un crecimiento bastante bueno y aceptable del 21,01 % lo que es igual a 23 424,8 metros cuadrados más por día.

### **2.4.3. Productividad mejorada**

El incremento de la producción se vio reflejado al disminuir los tiempos por paros ocasionados por los cilindros corrugadores que hacían el proceso lento y por la preparación manual de los empalmadores. La producción aumentó de 111 475 a 134 899,8 metros cuadrados en un día laboral.

$$\text{Productividad} = \frac{134\,899,8\ m^2}{14,55\ \text{horas hombre}}$$

$$\text{Productividad} = 9\,271,46\ m^2/\text{horas-hombre}$$

#### **2.4.3.1. Eficiencia**

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{producción obtenida}}{\text{producción deseada}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{134\,899,8}{138\,000} = 0,9775 = 97,75\ \%$$

#### **2.4.3.2. Eficacia**

$$\text{Eficacia} = \frac{9\,271,46\ m^2}{\text{horas-hombre}} * (0,9775)$$

$$\text{Eficacia} = 9\,062,85\ m^2/\text{horas} - \text{hombre}$$

- Análisis de resultados

Con el cambio de los cilindros hidráulicos y la reparación en los comandos electrónicos, la producción de metros cuadrados de cartón corrugado aumentó de 111 475 a 134 899,8 en un día de trabajo. Este aumento se dio debido al arreglo del tablero electrónico de los empalmadores y a la incorporación de los cilindros hidráulicos que era donde se perdía más tiempo a causa de corregir el mal corrugado. Gracias a esto se obtuvieron 23 424,8 metros cuadrados más por día.

También, se incrementaron la eficiencia de 80,77% a un 97,75% y la eficacia de 6 188,20  $m^2$ /horas-hombre a 9 062,85  $m^2$ /horas-hombre; por lo que el estudio de tiempos ha servido de una manera muy importante a contribuir con el incremento de la producción, la eficiencia y la eficacia de las secciones de la máquina corrugadora de cartón.

A continuación, se muestra una tabla con el presupuesto empleado para realizar los cambios en el área de corrugación.

Tabla XXII. **Presupuesto de la propuesta**

<b>Presupuesto</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
4	Cilindros hidráulicos	1849,23	Q 7 396,92
3	Reparación comandos electrónicos	2250	Q 6 750,00
	Otros (aceite, grasa, entre otros)		Q 500,00
		<b>Total</b>	<b>Q 14 646,92</b>

Fuente: elaboración propia.

### **3. FASE DE INVESTIGACIÓN. PROPUESTA DE DISEÑO PARA UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA DE CORRUGADO**

#### **3.1. Diagnóstico de la situación actual de la red de vapor**

El vapor es muy importante para la manufactura de cajas de cartón dado que este recurso sirve para ablandar y secar el papel. La caldera es la encargada de proveer el vapor mediante la tubería principal y ramales.

El diseño actual de la red de distribución de vapor fue hecho de acuerdo a las necesidades, acoplándose a los espacios y con forme se iba requiriendo que se instalara alguna tubería. Las fugas están presentes en algunas tuberías, así como el mal estado de los manómetros.

La tubería en gran parte cuenta con aislamiento térmico, pero en muchas otras ya no lo tiene o está dañado, esta pérdida energética, viene a afectar de gran manera el rendimiento de la caldera debido a que los equipos consumen más vapor y, por lo tanto, la caldera también consumirá más combustible, lo que se traduce en costos para la empresa.

La red de distribución de vapor en el área de corrugación cuenta con diferentes problemas como lo son: fugas de vapor en tuberías, manómetros averiados, aislamiento en tuberías deteriorado, la calidad del combustible y el estado actual de la caldera. Estos factores afectan y hacen que se trabaje más, que se produzca más vapor, que se consuma más combustible y que lo costos se incrementen.

Uno de los mayores problemas y más importante es el de fugas de vapor en diferentes puntos de la tubería, algunas llaves no cierran adecuadamente o entre uniones también se da este tipo de problema.

Un estudio de diseño de la red de distribución servirá para proponer y mejorar su distribución.

### **3.2. El vapor en la caldera**

El vapor en una caldera es muy importante, porque dependiendo el tipo de industria, así será su uso. Actualmente, la caldera trabaja a una presión de 150 psi y una máxima de 155 psi.

El vapor se produce al calentar agua a una presión constante. La etapa inicial en donde se empieza a evaporar se conoce como líquido saturado y la etapa final se llama vapor saturado.

Un vapor de excelente calidad depende mucho de la calidad del agua, es por ello que para efectos de fines industriales el agua de una caldera debe poseer las siguientes características:

- Agua clara, con la turbidez inferior a 10 ppm. Si es superior la turbidez, deberá someterse a filtración.
- Debe estar totalmente exenta de dureza no carbónica.
- La dureza total no debe exceder de 35 ppm.
- Debe estar libre de grasas y aceites.
- Debe estar exenta de oxígeno.
- Y poseer un bajo contenido de sílice.

Como lo demuestra la norma británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association), las siguientes tablas que muestran los requerimientos que deberá satisfacer el agua de alimentación y el agua de una caldera para prevenir incrustaciones y corrosión en calderas de baja presión (hasta 10 bar).

Tabla XXIII. **Especificaciones del agua para calderas, valor requerido**

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO
pH a 25 °C	10.5 - 11,8
Alcalinidad Total CaCO <sub>3</sub>	< 700 ppm
Alcalinidad Cáustica	> 350 ppm
Secuestrantes de Oxígeno:	
☐ Sulfito de Sodio	30 – 70 ppm
☐ Hidrazina	0.1 – 10 ppm
☐ Taninos	120 – 180 ppm
☐ Dietilhidroxilamina	0.1 – 1.0 ppm (en agua alimentación)
Fosfato Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	30 - 60 mg/l
Hierro	< 3.0 ppm
Sílice	150 ppm
Sólidos disueltos	< 3500 ppm
Sólidos en suspensión	< 200 ppm
Conductividad	< 7000 uS/cm
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Fuente: Blogspot. *Agua de alimentación y de la caldera*. cagnazucar.blogspot.com. Consulta: 18 de septiembre de 2017.

Tabla XXIV. **Especificaciones del agua para calderas, valor recomendado**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR REQUERIDO</b>
Dureza total	< 2 ppm
Contenido de oxígeno	< 8 ppb
Dióxido de carbono	< 25 mg/l
Contenido total de hierro	< 0,05 mg/l
Contenido total de cobre	< 0,01 mg/l
Alcalinidad total	< 25 ppm
Contenido de aceite	< 1 mg/l
pH a 25 °C	8.5 – 9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Fuente: Blogspot. *Agua de alimentación y de la caldera*. cagnazucar.blogspot.com. Consulta: 18 de septiembre de 2017.

### **3.3. Capacidad de la caldera**

La caldera que se tiene es de tipo pirotubular y funciona con tres tipos de combustible: el primero es bunker tipo C con el cual la caldera funciona y genera el vapor, el segundo es el diésel, el cual sirve para precalentar el combustible y el tercero es el gas propano que cumple la función de encender el quemador.

Figura 19. **Precaentador**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Tanque de propano (A) y tanque de diésel (B)**



**A**

**B**

Fuente: elaboración propia.

El calor que una caldera transmite es un proceso de flujo constante, en donde el calor transmitido es igual a la variación de la entalpía del vapor generado y a la del agua de alimentación.

La capacidad de una caldera puede expresarse de la siguiente forma:

$$\text{HP de caldera (BHP)} = \frac{ms(hg - hf)}{(2\,257 \text{ kJ/kg})(15,65 \text{ Kg/h})} \quad [\text{Ec. 5}].$$

Donde:

- $ms$  = peso del vapor producido por la caldera, en kg/h.
- $hg$  = entalpía de vapor saturado en kJ/kg, a presión absoluta de generación.
- $hf$  = entalpía del agua de alimentación en las condiciones a las que llega a la caldera en kJ/kg.
- 15,65 kg/h = corresponde a la evaporación de 15,65 kg (34,5 lb) de agua por hora a 100 °C (212 °F), lo cual significa la conversión de 15,65 kg de agua por hora a 100 °C en vapor saturado a 100 °C, a la presión atmosférica normal (1,03 kg/cm<sup>2</sup>).
- 2 257 KJ/Kg = Cada kilogramo de vapor producido requiere la entalpía de evaporación a la presión atmosférica normal.

Las dimensionales anteriores pueden convertirse entre sí, tomando en cuenta lo que la American Society of Mechanical Engineers (ASME) dice para un caballo de caldera (1BHP =15,65 kg/hr o 34,5 lb/hr).

Figura 21. **Caldera de vapor**



Fuente: elaboración propia.

### **3.3.1. Rendimiento térmico**

El rendimiento térmico de una caldera es la relación entre el calor transmitido al agua dentro de la caldera y la energía suministrada por el combustible.

Existen dos formas de efectuar el balance energético para calcular el rendimiento térmico:

- Método directo: se obtiene a partir de la medición del calor contenido en la tubería de agua antes y después de entrada a la caldera; por otra parte, la energía del combustible, producto de la cantidad empleada por su poder calorífico.

Su ecuación es la siguiente:

$$n = \frac{P_v(h_v - h_{fe})}{b \times PCI} \times 100 \quad [\text{Ec. 6}].$$

Donde:

- $P_v$  = producción de vapor (Kg/h)
  - $h_v$  = entalpia del vapor (KJ/Kg)
  - $h_{fe}$  = entalpia del fluido de entrada (KJ/Kg)
  - $b$  = consumo del combustible (gal/h)
  - $PCI$  = poder calorífico del combustible (BTU/ gal)
- Método indirecto: este método es utilizado cuando no se conoce la producción de vapor o el consumo de combustible.

$$n = \frac{Q_1}{Q_2} \quad [\text{Ec. 7}].$$

Donde:

$$Q_1 = Q_{\text{util}} = Q_{\text{aportado}} - Q_{\text{perdidas}}$$

$$n = \frac{Q_{\text{aportado}} - Q_{\text{perdidas}}}{Q_{\text{perdidas}}} = 1 - \frac{Q_{\text{perdidas}}}{Q_{\text{aportado}}}$$

Donde:

$$Q_{\text{perdidas}} = Q_{\text{humos}} + Q_{\text{inquemados}} + Q_{\text{purgas}} + Q_{\text{radiación}} \text{ (Kcal/Und de combustible)}$$

$Q_{aportado} = PCI \text{ (Kcal/Und de combustible)}$

### **3.3.2. Tipos de vapor**

El vapor es muy importante para el sector industrial y se obtiene a partir del agua.

Al calentar agua a una presión constante se obtiene vapor, y calor con un alto contenido energético a temperatura constante.

El vapor puede utilizarse para muchos fines: secado, potencia, calefacción, ablandamiento, entre otros.

#### **3.3.2.1. Vapor saturado**

En este estado el vapor se compone de agua en la fase líquida, así como de agua en la fase gaseosa.

El vapor saturado es vapor a la temperatura de ebullición del líquido. Es el vapor que se desprende cuando el agua está en ebullición.

El vapor saturado es muy utilizado como fuente de calor a causa de:

- Es muy rápido, es posible el calentamiento a través del calor latente. Mejora la calidad del producto y la productividad.
- La presión y la salida pueden ser establecidas con precisión. Posibilita controlar la presión en lugar de controlar la temperatura.

- Alto coeficiente de calor. El área pequeña requerida para la transferencia de calor permite reducir los gastos de los equipos.
- Es originado a partir del agua, por lo que es seguro y de bajo costo.

Dicho lo anterior, es necesario tener en cuenta lo siguiente cuando se calienta con vapor saturado:

- Las pérdidas de calor por radiación provocan que parte del vapor se condense, formando condensado, el cual debe drenarse por medio de la instalación de la trampa de vapor.
- La eficiencia del calentamiento se ve afectada si se utiliza otro vapor en lugar del vapor extremadamente seco.
- Si la presión cae debido a pérdidas en la presión, provocadas por fricción en tuberías, entre otros, es posible que la temperatura también caiga.

### **3.3.2.2. Vapor sobrecalentado**

En este estado el vapor es creado por un calentamiento adicional del vapor saturado, produciendo vapor con mayor temperatura que la de saturación a la misma presión.

Se obtiene también de calderas que tienen secciones de recalentamiento para el vapor haciendo pasar el vapor que se obtiene en la ebullición por tubos expuestos a los gases calientes del proceso de combustión.

Principales razones por las que es utilizado el vapor sobrecalentado:

- Funcionamiento de locomotoras de vapor
- Generación eléctrica en centrales termoeléctricas
- Centrales geotérmicas
- Procesos industriales de secado de papel
- Procesos de destilación
- Accionamiento de barcos
- En turbinas:
  - Mantener la sequedad del vapor en equipos impulsados con vapor, cuyo rendimiento se ve afectado por la presencia de condensado.
  - Para mejorar la eficiencia térmica.

El vapor sobrecalentado es muy poco utilizado como fuente de calor:

- Existen cambios de temperatura durante el calentamiento porque la porción sobrecalentada es calor sensible.
- Incluso si la presión es constante, la temperatura no puede ser establecida con precisión. No puede utilizarse el control de presión.
- Eficiencia baja en transferencia de calor.

### **3.3.2.3. Calidad del vapor**

La calidad del vapor es el porcentaje en masa de vapor en una mezcla líquido–vapor. El vapor será el fluido que brindará la energía que posee

transformándola en trabajo; no así, el condensado o líquido saturado, debido a que el calor que posee (energía) es de escasa calidad.

Según los autores Yunus A. Cengel y Michael A. Boles, 1996, durante el proceso de evaporación una sustancia existe como parte líquida y como parte vapor saturado. De esta forma la calidad (x) se define como la razón entre la masa de vapor y la masa total de la mezcla.

La calidad puede expresarse como un porcentaje o como fracción decimal:

- La calidad de la mezcla formada únicamente por líquidos saturados es 0 (0 %).
- La calidad de una mezcla que contenga solo vapor saturado es 1 (100 %).

La ecuación que describe la calidad del vapor se expresa de la siguiente forma:

$$X = \frac{h-h_f}{h_{fg}} \quad \text{[[Ec. 1].}$$

Donde:

- H: es la entalpía, pero también puede ser, ya sea entropía, energía interna o bien volumen específico el que lo sustituya en la ecuación núm. 8.
- H<sub>f</sub>: entalpía del agua de alimentación en las condiciones a las que llega a la caldera en kJ/kg.

- Hfg: energía requerida para transformar agua saturada en vapor saturado seco.

### **3.4. Diseño de una red de distribución de vapor**

Un diseño de una red de distribución de vapor se basa en analizar cada una de las partes involucradas en la distribución, así como el control de los dispositivos. Esto incluye desde la caldera que es la parte que suministra el vapor por los ramales, el tipo de combustible, diámetros de tubería, trampas, y demás accesorios involucrados en este proceso.

Es muy importante hacer un análisis preciso de las dimensiones y capacidades de todos los componentes para que se pueda tener el máximo rendimiento de los equipos.

El diseño de la red de distribución de vapor incluye una serie de pasos que a continuación se presentan:

- Selección de la presión
- Diámetro de las tuberías
- Drenaje de condensado y trampeo
- Expansión térmica de la tubería
- Selección de trampa de vapor
- Aislamiento
- Soportes

En los capítulos más adelante se estudiarán a fondo con más detalle cada uno de los pasos anteriores.

### **3.4.1. Determinación de la presión inicial de vapor**

La caldera tiene una presión de trabajo de 150 psi y una máxima de 155 psi, generando una gran cantidad de vapor, la cual es utilizada para cubrir la demanda que existe actualmente.

La presión inicial de vapor debe ser seleccionada desde el momento del diseño, debido a que se tiene que tener en cuenta la caída de presión permitida para todo el sistema de distribución. Esta caída total de presión no debe de exceder de 20 % de la presión máxima de la caldera en cada una de las diferentes líneas. Este valor debe incluir todas las caídas que existen en: tubos, codos, válvulas, entre otros.

La caída de presión debida a la fricción de las tuberías estará limitada de 5 % a 7 % de la presión de la línea por cada 100 pies de longitud total equivalente, para cabezales y tuberías con pulsaciones. Para tramos cortos con flujo continuo, la caída de presión podrá ser del 1 al 2 % de la línea.

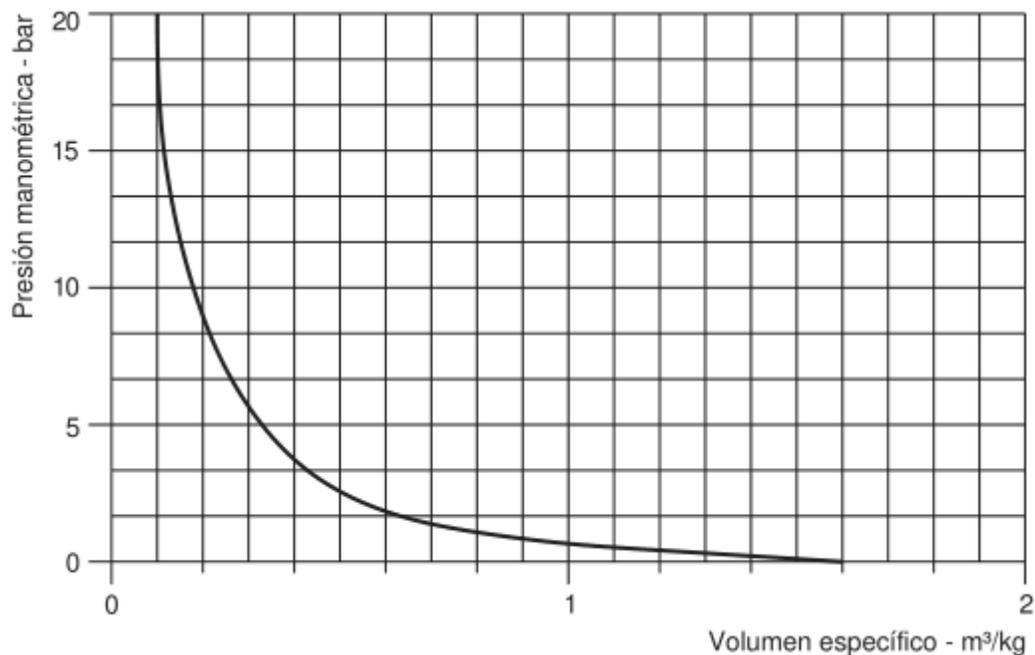
Lo anterior quiere decir que la caldera debe de operar a una presión superior a la deseada al final de cada una de las líneas de vapor para que se pueda absorber una caída de presión a lo largo de toda la tubería. Sin olvidar que una caída de presión es una pérdida de energía que se tiene en la distribución y ramales, esto se traduce en gastos económicos para la empresa.

Para resumir el párrafo anterior, cuando se seleccione la presión de trabajo, debe tomarse en cuenta lo siguiente:

- Presión requerida en el punto de utilización.
- Caída de presión a lo largo de la tubería debida a la resistencia al paso del fluido.
- Perdida de calor en la tubería.

Otro punto muy importante es que el vapor a alta presión ocupa menos volumen por kilogramo que el vapor a baja presión. Por lo tanto, si el vapor se genera en la caldera a una presión muy superior a la requerida para su aplicación, y se distribuye a esta presión superior, el tamaño de las tuberías de distribución será mucho menor para cualquier caudal. La siguiente gráfica lo ilustra.

Figura 22. **Vapor saturado seco – relación/volumen específico**



Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor*. p. 46.

### **3.4.2. Tuberías y ramales**

Las tuberías principales son un conjunto de elementos que sirven para unir el vapor generado en la caldera con los equipos que lo consumen. La caldera posee la temperatura suficiente para elevar la entalpía del agua con que se alimenta hasta el valor requerido por el sistema. El agua entra como líquido saturado y sale para ser distribuido por la tubería principal en forma de vapor saturado.

Las tuberías se pueden seleccionar basándose en una de las dos características siguientes:

- Velocidad del flujo
- Caída de presión

En cada caso es sensato realizar la comprobación utilizando el método alternativo, para asegurar que no se exceda de los límites.

Además, cuando se sobredimensiona una tubería puede existir ciertos inconvenientes:

- Las tuberías serán más caras de lo necesario.
- Se formará un mayor volumen de condensado a causa de las mayores pérdidas de calor.
- La cantidad del vapor y posterior entrega de calor será más pobre, debido al mayor volumen de condensados que se forma.

- Los costos de instalación serán mayores (aumento en el costo de las válvulas, accesorios, soportes aislamientos).

Por ejemplo:

- El costo de instalar una tubería de 3" resulta un 44 % más caro que el costo de una de 2", cuya capacidad era la adecuada.
- El calor perdido por la tubería aislada de 3" fue un 21 % mayor del que se hubiera perdido en el 2".
- Las partes no aisladas hubieran perdido un 50 % más de calor en la línea de 3" que en la de 2"; debido a la mayor superficie de transferencia de calor disponible.
- Cuando se subdimensionan las tuberías significa:
  - La velocidad del vapor y la caída de presión serán mayores, generando una presión inferior a la que se requiere en el punto de utilización.
  - El volumen de vapor será insuficiente en el punto de consumo.
  - Habrá un mayor riesgo de erosión, golpe de ariete y ruidos a causa del aumento de velocidad.

La no remoción de condensado adicional generado por el sobre o subdimensionamiento, causará:

- Disminución de la calidad del vapor
- No se suministra el vapor necesario
- El vapor llega al lugar de consumo con una presión reducida
- La caída de presión generará mayor velocidad en el vapor
- Mayor posibilidad de golpe de ariete

Las tuberías secundarias llamadas ramales, se encargan de llevar el vapor de la tubería principal hasta un equipo específico que así lo requiera.

La instalación del vapor deberá contar con una red de distribución de vapor y otro con retorno de condensado a la caldera, todo esto deberá ser en circuito cerrado.

Uno de los procedimientos para calcular los diámetros de la tubería se puede realizar mediante la utilización de tablas dependiendo la presión a la que el vapor se encuentre. Además, de tener en cuenta cada paso y factor que se detalle allí.

Por otra parte, al manejar un fluido de altas temperaturas, toda la red de distribución debe estar provista de aislamiento térmico adecuado que evite fugas térmicas que son las causantes de ineficiencia en las instalaciones.

Existen dos causas que hacen necesario implementar accesorios específicos en la red de distribución de vapor:

- Presencia de aire
- Presencia de condensado

La presencia de vapor mezclado con aire es un problema serio en las tuberías y ramales debido a la pérdida de eficiencia. El aire debido a su bajo calor específico y mala transferencia térmica, rebaja notablemente la eficiencia de intercambio del vapor. Esta situación obliga al empleo de separadores o purgadores de aire en los ramales de vapor.

La presencia de condensado existirá siempre en el proceso de vapor y se produce cuando el vapor entra en contacto con puntos fríos del sistema, tanto a nivel de tuberías de distribución como con el propio proceso de intercambio de calor.

### **3.4.3. Tubería de retorno para condensado**

Las tuberías de retorno de condensado son muy importantes porque son las encargadas de recibirlo y de transportarlo. El condensado proveniente de descargas de trampas es llevado de regreso al tanque de almacenamiento para poder ser utilizado nuevamente.

Las razones principales para recuperar el condensado son las siguientes:

- Eficiencia energética
- De índole económica

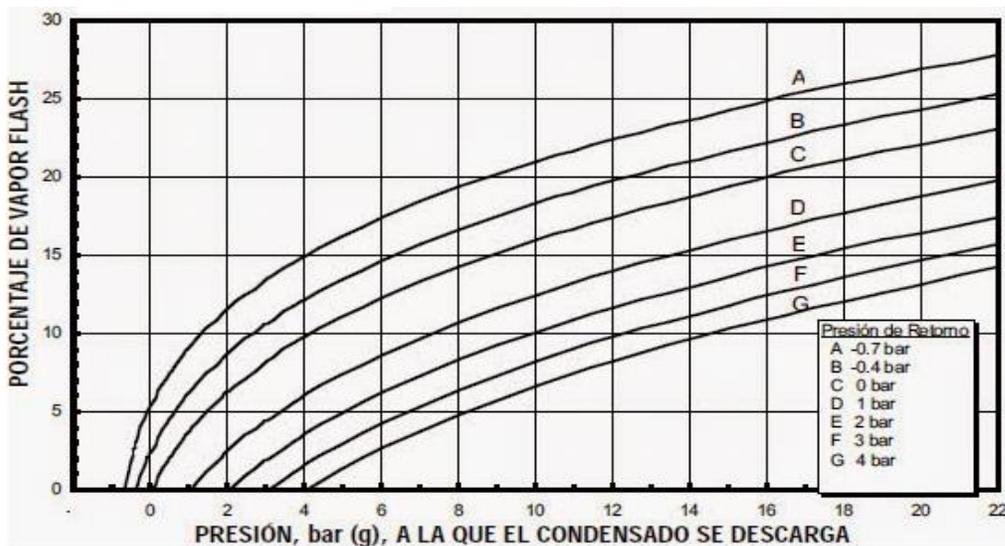
En el caso del vapor además del ahorro debido a una mejor eficiencia energética, a causa de retornar el condensado a la caldera, se producen ahorros derivados de utilizar agua condensada y, por tanto, exenta de sales minerales, lo que evita tratamientos químicos previos del agua de entrada en caldera.

Cuando se tenga que drenar el condensado es muy importante tomar en cuenta el vapor secundario conocido como vapor *flash*. Este vapor es generado cuando el condensado de alta temperatura y presión se expone a una gran caída de presión tal como la descarga de una trampa de vapor.

Esto quiere decir que cuando el condensado es descargado a una presión menor, su entalpía (energía total) permanece constante, pero su punto de saturación (la temperatura a la cual el condensado puede existir tanto en estado líquido como gaseoso). Para compensar la cantidad excesiva de energía, parte de las moléculas del agua absorben el exceso de energía como calor latente y se vaporan en forma de vapor.

La tubería de retorno de condensado debe tener la capacidad de transportar el condensado y el vapor *flash*; sin embargo, el volumen del vapor flash es mucho mayor que el volumen de condensado. Estas tuberías también deben estar diseñadas para tener una velocidad razonable y una caída de presión aceptable.

Figura 23. **Porcentaje de vapor *flash***



Fuente: *Vapor flash*. cagnazucar.blogspot.com. Consulta: 19 de septiembre de 2018.

La tabla anterior muestra el porcentaje de vapor *flash* que se forma cuando se descarga condensado a una presión menor.

#### **3.4.4. Tubería para trampa de vapor**

Las tuberías para trampa de vapor están conectadas a los ramales y se conocen como piernas colectoras, estas tuberías tienen dos funciones muy importantes que son:

- Dejar que el condensado sea drenado por gravedad, del vapor fluyendo a alta velocidad.
- Colectar el condensado hasta que la presión diferencial sea suficiente para descargarlo a través de la trampa de vapor.

Una parte muy importante de la tubería para trampa de vapor es el cabezal de calderas, este cabezal es una clase especial de tubería de distribución porque puede recibir vapor de una o varias calderas al mismo tiempo. Es recomendable que esta tubería esté instalada de forma horizontal a la que se alimenta el vapor en la parte superior, y al mismo tiempo se alimentan las tuberías principales de distribución.

Figura 24. **Cabezal de vapor**



Fuente: elaboración propia.

### **3.5. Propuesta de diseño para red de vapor**

Esta propuesta de diseño consiste en realizar un estudio detallado de los componentes que constituyen cada ramal de vapor, así como de la tubería principal.

La idea principal de la propuesta es dar a conocer la forma de como seleccionar una trampa de vapor, como se debe trampear una red de distribución de vapor, como drenarla, como seleccionar el soporte ideal, entre otros.

La propuesta incluye el estudio de:

- Drenado del condensado y trapeo
- Drenado de las líneas de distribución
- Trampa de vapor y sus especificaciones
- Selección de la trampa de vapor
- Trapeo unitario
- Expansión térmica de tuberías
- Tipos de juntas
- Soportes en tuberías
- Plan de mantenimiento

A continuación, en los capítulos siguientes se estudian cada uno de los puntos anteriores.

### **3.5.1. Drenado del condensado y trapeo**

El condensado se forma en el sistema de distribución debido a la transferencia de calor del vapor a la sustancia que se desea calentar. Una vez que el vapor se condensa al haber soltado todo el calor latente, es muy importante remover inmediatamente el condensado caliente. El condensado todavía es agua caliente con valor energético por lo que debe ser devuelto a la caldera.

Mediante el trapeo instalado en locaciones de descarga adecuado, se logra remover el condensado. Una remoción eficiente de condensado debe considerar:

- Una cuidadosa selección de la ubicación de las trampas de vapor.

- Proveer un adecuado soporte de inclinación a la tubería de vapor.
- Instalar adecuadamente las piernas de condensado para que permitan la eficiente remoción de condensado.
- Remover de manera adecuada el aire y condensado del final de las líneas.

### **3.5.2. Drenado de las líneas de distribución**

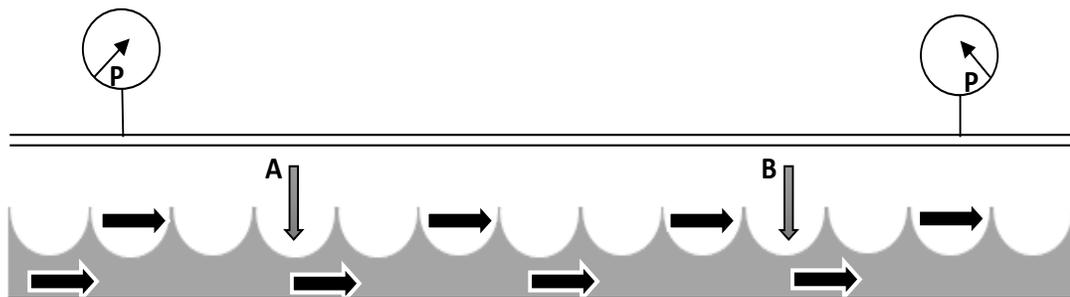
Es necesario remover el condensado de manera rápida y eficiente de las líneas de distribución porque son éstas las encargadas de suministrar vapor a los equipos. La acumulación de condensado produce golpe de ariete, este golpe se da porque el condensado es arrastrado por el vapor a lo largo de la tubería y choca bruscamente al impactar contra algún obstáculo del sistema en lugar de que sea purgado hacia la tubería baja del sistema.

Razones principales por lo que es importante realizar el drenado del condensado:

- El drenado que se acumulado en las líneas de vapor puede ser causa de cierto tipo de golpe de ariete.
- Cuando el vapor viaja a velocidades de hasta 160 km/h tiende a producir olas al pasar sobre el condensado. Tal y como se muestra en la figura 23. Y al acumularse demasiado condensado entonces el vapor a alta velocidad lo estará empujando.

- El empuje del condensado genera un tapón de agua que crece y crece y cualquier componente que trate de cambiar la dirección del flujo, ya sea codos, conexiones, válvulas, entre otros, tienden a ser dañadas.
- El golpeteo del condensado a gran velocidad ocasiona erosiones significantes en las conexiones y tuberías con superficie metálica.

Figura 25. **Condensado en tubería de vapor**



Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 56.

- A: condensado dentro de línea de vapor.
- B: el condensado produce una diferencia de presión que permite a la presión del vapor empujar el tapón del condensado a lo largo del tubo como cilindro golpeador.

### 3.5.3. Trampa de vapor y sus especificaciones

La trampa de vapor tiene como objetivo sacar el vapor, aire y CO<sub>2</sub> del sistema tan rápido como se esté acumulando. Además, para una mejor

eficiencia y economía, una trampa debe de tener las siguientes especificaciones:

- Pérdida mínima de vapor. La tabla XXVI muestra que tan costoso puede resultar el tener fugas de vapor sin reparar.
- Larga vida y servicio seguro. El desgaste rápido de sus partes resulta en una trampa que no ofrece servicio seguro. Una trampa eficiente ofrece ahorro de dinero al minimizar las pruebas, reparaciones, limpieza, interrupción de servicio o cualquier otro requerimiento.
- Resistencia a la corrosión. Las partes importantes de una trampa deben ser resistentes a la corrosión para que no sufran los efectos dañinos del condensado cargados con ácido o con oxígeno.
- Venteo del aire. El aire puede mezclarse con el vapor en cualquier momento, y en especial al arrancar el equipo. El aire debe ser venteado para tener una transferencia de calor eficiente y para prevenir bloqueos en el sistema.
- Venteo del CO<sub>2</sub>. Mediante el venteo del CO<sub>2</sub> a la temperatura del vapor se evita la formación de ácido carbónico. Por lo tanto, la temperatura de vapor debe de operar a una temperatura igual, o bastante cerca, a la temperatura del vapor, ya que el CO<sub>2</sub> se disuelve en condensado que se ha enfriado a temperatura menor que la del vapor.
- Libre de problemas por suciedad. La basura y suciedad siempre están presentes en las trampas de vapor debido a que se instalan en los niveles bajos del sistema de vapor. El condensado recoge la suciedad y

el sarro en las tuberías, y también partículas sólidas pueden ser acarreadas desde la caldera.

Tabla XXV. **Costos por fuga de vapor para diferentes diámetros**

<b>Tamaño del orificio (Pulgadas)</b>	<b>Kilogramos de vapor desperdiciados al mes</b>
1/2	379 500
7/16	289 500
3/8	213 600
5/16	147 700
1/4	95 400
3/16	53 200
1/8	23 800

Fuente: elaboración propia.

Las pérdidas de vapor indicadas en la tabla anterior suponen un vapor limpio y seco que fluye hacia la atmosfera a través de un orificio de bordes agudos, y sin condensado presente. La existencia de condensado usualmente resulta en pérdidas menores debido a la creación de vapor flash cuando se tiene una caída de la presión del vapor.

Una trampa de vapor que no ofrezca cualquier cosa menor que todas estas características deseadas, resultara en una eficiencia menor en el sistema y en un incremento de los costos. Cuando una trampa ofrece todas las características enlistadas, el sistema puede lograr:

- Calentamiento rápido en las unidades de transferencia de calor.
- Temperaturas máximas en las unidades para una mejor transferencia de calor.

- Funcionamiento a capacidad máxima.
- Máximo ahorro energético.
- Reducción de la mano de obra por unidad.
- Una vida en servicio larga, sin problemas y de mínimo mantenimiento.

En algunos casos especiales se necesita una trampa sin alguna de las características mencionadas, pero en la gran mayoría de las aplicaciones la trampa que sea capaz de satisfacer todas las necesidades será la que dé mejores resultados.

#### **3.5.4. Selección de la trampa de vapor**

Para obtener todos los beneficios de las trampas que se han descrito en el inciso anterior, es necesario que las trampas sean seleccionadas en tamaño para la presión correcta y que se les dé el mantenimiento apropiado.

A continuación, en los siguientes incisos se describen los puntos más importantes para la selección de forma correcta una trampa de vapor, si se conoce o se puede calcular la siguiente información:

##### **3.5.4.1. Factor de seguridad**

El factor de seguridad es un coeficiente utilizado para seleccionar la capacidad de carga requerida por la trampa, las condiciones de flujo de condensado variable, caídas ocasionales de la presión diferencial y factores propios de diseño.

El factor de seguridad varía desde 1,5, hasta un máximo de 10. Un factor de seguridad adecuado es requerido para un óptimo rendimiento, pero si se tiene un factor de seguridad muy alto puede causar problemas.

El factor de seguridad es afectado por al menos dos variables:

- La carga de condensado
- El tiempo relativo de respuesta de la trampa de vapor

#### **3.5.4.2. Diferencias de presiones**

La diferencia entre la presión de la caldera o el cabezal del vapor o a la salida de una válvula reguladora de presión, y a la presión de la línea de retorno se le conoce como diferencial máximo. La trampa de vapor debe de ser capaz de abrir y de vencer la presión diferencial.

Cuando la presión en el cabezal de retorno de condensado pueda estar a una presión mayor que la atmosférica y la planta esté operando a toda capacidad, la presión del vapor a la entrada de la trampa puede ser menor que la presión del cabezal de vapor, a esto se le llama, diferencial de operación.

Si el diferencial de operación es por lo menos un 80 % del diferencial máximo, es seguro usarlo para seleccionar la trampa.

La presión de entrada puede caer por debajo de su valor normal a causa de:

- Válvula de control o regulador de temperatura.

- Drenaje por sifón. Por cada metro de elevación entre el punto de drenaje y la trampa de vapor se produce la presión de entrada, y la diferencial, en 0,1 bar.

La presión de descarga puede subir de su valor normal por las siguientes razones:

- Fricción en tuberías.
- Otras trampas de vapor descargando en un sistema de retorno de capacidad limitada.
- Elevación de condensado, por cada metro de elevación se incrementa la presión de descarga, y la diferencial, en 0,1 bar, si la descarga es solamente condensado.

#### **3.5.4.3. Presión permitida**

La trampa de vapor deberá de tener la capacidad de resistir la presión máxima permitida en el sistema; si en dado caso se trabaja a presiones menores, la trampa tendrá que estar diseñada para soportar presiones máximas para cuando así se requiera.

#### **3.5.5. Trampeo unitario**

Recolectar el condensado de distintas secciones de un equipo calentado por vapor en una línea de condensado que descargue en una sola trampa se conoce como trampeo en grupo.

El trapeo grupal presenta el inconveniente de que cuando existe alguna diferencia en las cantidades de condensado de una unidad, habrá una diferencia en la caída de presión del vapor. Además, una diferencia pequeña de presiones es suficiente para permitir que el vapor de la unidad con presión más alta bloquee el flujo de aire y condensado de la unidad con presión más baja. El resultado es una reducción de la capacidad de calentamiento y del condensado, así como un desperdicio de combustible.

En la figura 24 se muestra un ejemplo de trapeo de grupo. De dos unidades que utilizan vapor drenadas por una sola trampa.

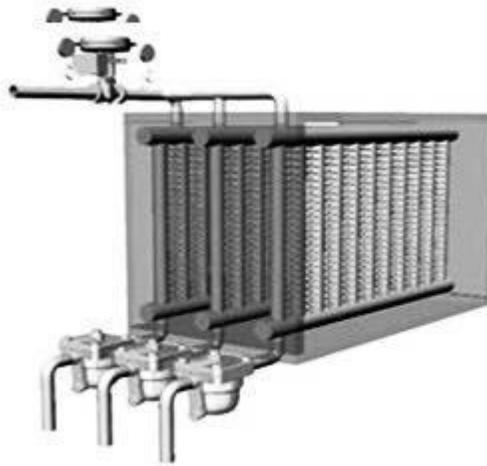
Figura 26. **Instalación de trapeo incorrecto**



Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor*. p. 45.

En la figura 25 se muestra un ejemplo de trapeo individual. Cada unidad es drenada mediante su propia trampa, lo que garantiza una mayor eficiencia.

Figura 27. **Instalación de trapeo correcto**



Fuente: Spirax Sarco. *Distribución del vapor*. p. 46.

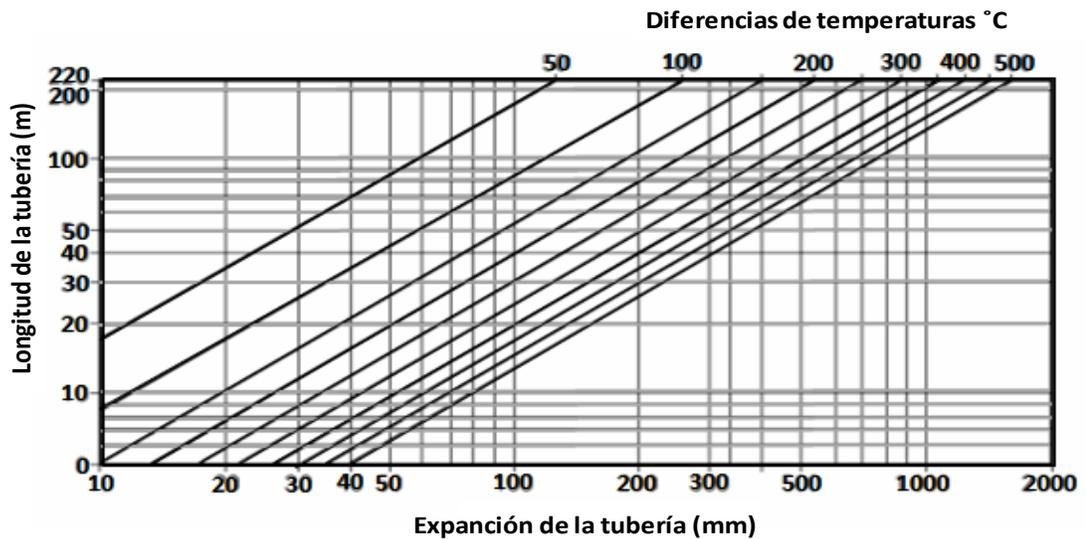
El trapeo en grupo no es aprobado debido a que puede causar un desequilibrio de presión, el cual puede llevar a problemas como daños dentro del equipo por acumulación de condensado y golpe de ariete. Lo recomendable es que todas y cada una de las secciones de equipo que utilizan vapor tenga su propia trampa.

### **3.5.6. Expansión térmica tuberías**

Las líneas de vapor están cargadas de vapor a alta temperatura y con este aumento, se incrementa la longitud en las tuberías. Esto creará tensiones, dilataciones y expansiones que provoca esfuerzos de tracción y compresión sobre ciertas áreas dentro del sistema de distribución, como uniones de tubo, que en el extremo podrían dañarse.

Para disipar y absorber estos esfuerzos de dilatación se usan diferentes tipos de juntas de expansión que son capaces de asimilarlos.

Tabla XXVI. **Diferentes longitudes de tubo acerado a diferentes temperaturas**

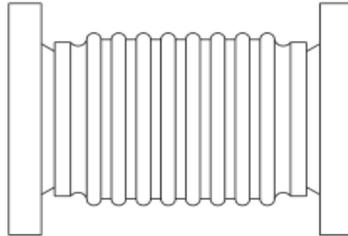


Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 56.

### 3.5.7. Junta tipo fuelle

Este tipo de juntas soportan elevadas presiones y temperaturas. Son capaces de admitir movimientos simultáneamente axiales, laterales, angulares y de vibraciones, sin que puedan entrar incrustaciones. Debido a esta versatilidad, absorben muy bien la dilatación y vibración.

Figura 28. **Junta tipo fuelle**

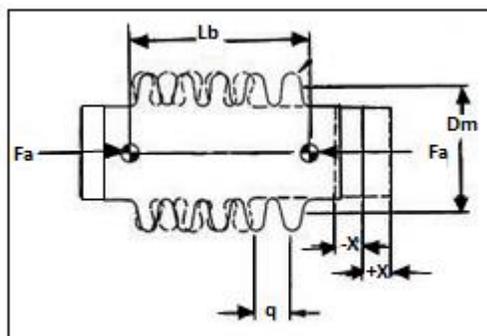


Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac. p. 57.*

Existen diferentes tipos de movimientos presentes en el sistema de distribución:

- **Movimiento axial:** este movimiento se produce en el fuelle al desplazarse el extremo del movimiento con respecto al otro en la dirección de su eje de simetría.

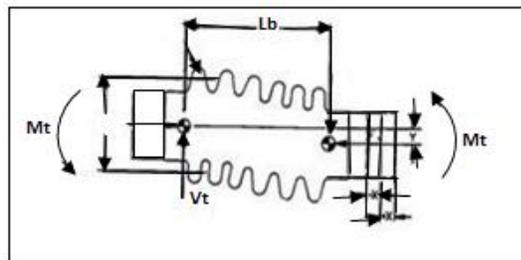
Figura 29. **Junta tipo fuelle – movimiento axial**



Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac. p. 58.*

- Movimiento lateral: se da el fuelle al desplazarse uno de sus extremos con respecto al otro en la dirección normal de su eje de simetría.

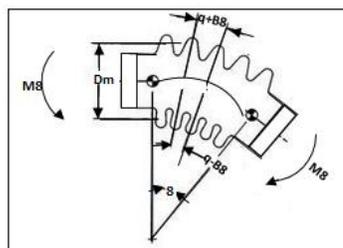
Figura 30. **Junta tipo fuelle – movimiento lateral**



Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 59.

- Movimiento angular: este movimiento se produce cuando el desplazamiento del eje de simetría del fuelle de su posición original en línea recta da lugar a la formación de un ángulo debido al desplazamiento de un extremo con respecto al otro en forma de arco circular.

Figura 31. **Junta tipo fuelle – movimiento angular**

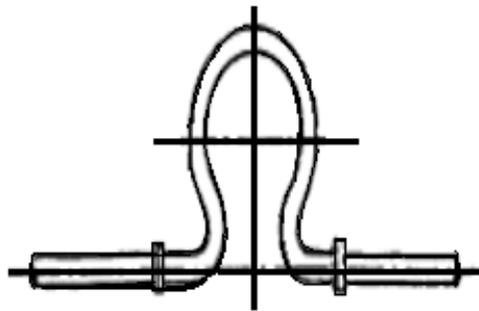


Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 60.

### 3.5.8. Junta tipo omega

Esta junta tiene la forma física de la letra griega omega y gracias a su curvatura proporciona la flexibilidad para poder absorber la expansión que tenga la tubería recta de ambos lados.

Figura 32. Junta tipo omega

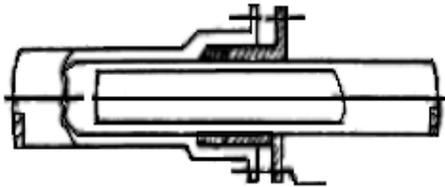


Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 61.

### 3.5.9. Junta tipo telescópica

Están diseñadas con dos tubos, uno dentro de otro, conectadas cada una a un lado de la tubería. Uno de los tubos se desliza dentro del otro lo que hace que se eviten fugas por medio de prensa estopa y empaques.

Figura 33. **Junta tipo telescópica**

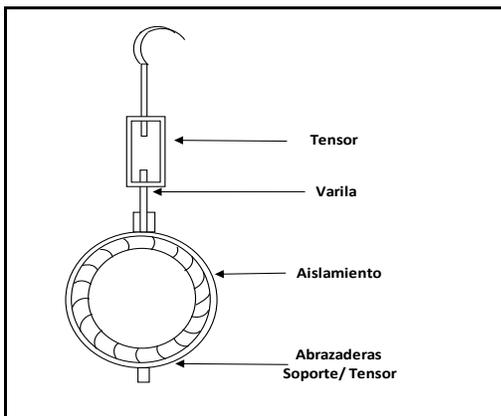


Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac. p. 62.*

### 3.5.10. Soporte en tuberías

Los soportes constituyen una pieza importante en la tubería de distribución de vapor debido a que son los encargados de sostenerlas o soportarlas en los puntos que conectan; cuando no hay problemas de dilatación el montaje es sencillo empleando soportes de abrazaderas, varillas y un tensor de ajuste.

Figura 34. **Soporte tipo tirante**

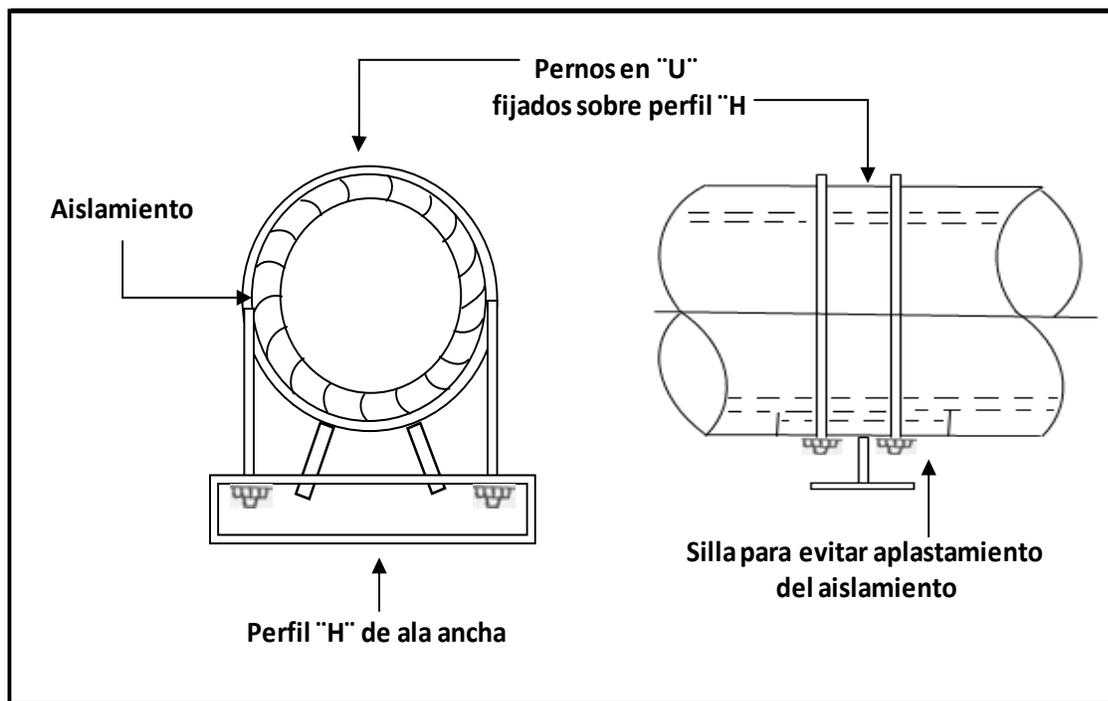


Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac. p. 63.*

Si existen problemas de dilatación, lo ideal será utilizar un soporte anclado.

La eficiencia de las juntas de dilatación exige el anclaje de las tuberías en ciertos puntos; una solución es colocar un soporte formado de perfiles de acero y pernos en forma de U los cuales fijan la tubería sobre el soporte.

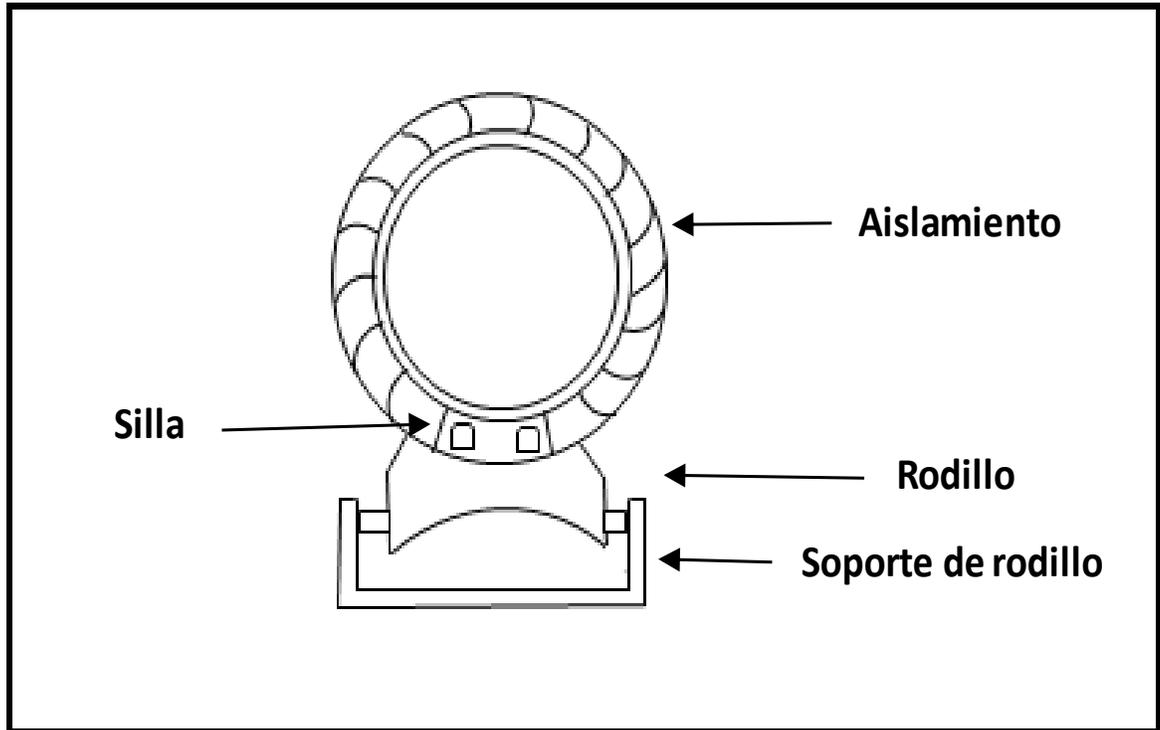
Figura 35. **Soporte anclado**



Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 65.

Cuando la tubería es soportada por debajo, para no dificultar la dilatación, los soportes están previstos de rodillos como se muestra en la siguiente figura:

Figura 36. **Soporte de rodillo**



Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 68.

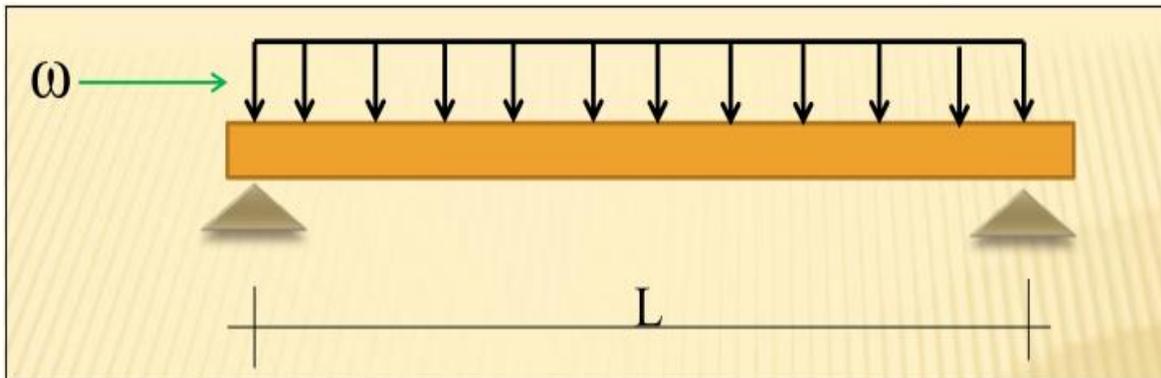
Otro punto muy importante que tomar es el espaciamiento entre soportes, para ello se considera un tubo como una viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida la cual estará formada por el peso propio del tubo y su contenido que en el caso de tuberías de vapor se consideran llenas de agua.

Entonces:

- $\omega$  = carga distribuida.
- $\omega$  = peso del tubo + peso del agua.
- Peso del tubo = obtenido en las tablas XXVII.

- peso del agua =  $\left(\frac{\pi d^2}{4}\right) * (64.4)$  (para el sistema ingles); donde d está en pies.
- peso del agua =  $\left(\frac{\pi d^2}{4}\right) * (1000)$  (para el sistema métrico o internacional); donde d en metros.

Figura 37. **Viga apoyada con carga uniformemente distribuida**



Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 69.

Tabla XXVII. **Medidas y pesos en tubería de acero**

Diámetro nominal		Diámetro exterior real		Espesor de pared		Identificación		Peso del tubo		ASTM A 53 PRESIÓN DE PRUEBA			
NPS	DN	Pulgdas	Milímetros	Pulgdas	Milímetros	Weight Class	schedule	Lb/pie	Kg/m	Grado A		Grado B	
in,	mm,	(in)	(mm)	(in)	(mm)					psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2
0,5	15	0,84	21,3	0,109	2,77	STD	40	0,85	1,27	700	49	700	49
				0,147	3,73	XS	80	1,09	1,62	850	60	850	60
0,75	20	1,05	26,7	0,113	2,87	STD	40	1,13	1,69	700	49	700	49
				0,154	3,91	XS	80	1,47	2,2	850	60	850	60
1	25	1 315	33,4	0,133	3,38	STD	40	1,68	2,5	700	49	700	49
				0,179	4,55	XS	80	2,17	3,24	850	60	850	60
1,25	32	1,66	42,2	0,14	3,56	STD	40	2,27	3,39	1200	84	1300	91
				0,191	4,85	XS	80	3	4,47	1800	127	1900	134
1,5	40	1,9	48,3	0,145	3,68	STD	40	2,72	4,05	1200	84	1300	91
				0,2	5,08	XS	80	3,63	5,41	1800	127	1900	134
2	50	2 375	60,3	0,154	3,91	STD	40	3,65	5,44	2300	162	2500	176
				0,218	5,54	XS	80	5,02	7,48	2500	176	2500	176
2,5	65	2 875	73	0,203	5,16	STD	40	5,79	5,63	2500	176	2500	176
				0,276	7,01	XS	80	7,66	11,41	2500	176	2500	176
				0,375	9,52		160			2500	176	2500	176
				0,552	14,02	XXS	-			2500	176	2500	176
				0,125	3,18		-	4,51	6,72	1290	91	1500	105
3	80	3,5	88,9	0,156	3,96		-	5,57	8,29	1600	112	1870	131
				0,188	4,78		-	6,65	9,92	1930	136	2260	159
				0,216	5,49	STD	40	7,58	11,29	2220	156	2500	176
				0,25	6,35		-	8,65	12,93	2500	176	2500	176
				0,281	7,14		-	9,66	14,4	2500	176	2500	176
				0,3	7,62	XS	80	10,25	15,27	2500	176	2500	176
4	100	4,5	114,3	0,125	3,15		-	5,84	8,71	1000	70	1170	82
				0,156	3,96		-	7,24	10,78	1250	83	1460	103
				0,133	4,75		-	8,66	12,91	1500	105	1750	123
				0,219	5,56		-	10,1	14,91	1750	123	2040	143
				0,237	6,02	STD	40	10,79	16,07	1900	134	2210	155
				0,25	6,35		-	11,35	16,9	2000	141	2330	164
				0,281	7,14		-	12,66	18,87	2250	158	2620	184
				0,312	7,92		-	13,93	20,78	2500	176	2800	197
				0,337	8,56	XS	80	14,93	22,32	2700	190	2800	197
				0,438	11,13		-	19	28,32	2800	197	2800	197
				0,531	13,49		-	22,51	33,54	2800	197	2800	197
5	125	5 563	141,3	0,674	17,12	XXS	-	27,54	41,03	2800	197	2800	197
				0,186	4,78		-	10,79	16,09	1220	86	1420	100
				0,219	5,56		-	12,5	18,61	1420	100	1650	116
				0,258	6,55	STD	40	14,62	21,77	1670	117	1950	137
				0,281	7,14		-	15,85	23,62	1820	128	2120	149
				0,312	7,92		-	17,5	26,05	2020	142	2360	166
6	150	6 625	165,3	0,344	8,74		-	19,17	28,57	2230	157	2600	183
				0,375	9,52	XS	80	20,78	30,94	2430	171	2800	197
				0,185	4,78		-	12,92	19,27	1020	72	1190	84
				0,219	5,56		-	14,93	22,31	1190	84	1390	98
				0,25	6,35		-	17,02	25,36	1360	96	1580	111
				0,28	7,11	STD	40	18,97	28,26	1520	107	1780	125
				0,312	7,92		-	21,04	31,32	1700	120	1980	139
				0,344	8,74		-	23,08	34,39	1870	131	2180	153
6	150	6 625	165,3	0,375	9,52		-	25,02	37,28	2040	143	2380	167
				0,432	10,97	XS	80	28,57	42,56	2350	165	2740	193
				0,562	14,27		-	36,39	54,2	2800	197	2800	197
				0,719	18,26		-	45,35	67,56	2800	197	2800	197
				0,864	21,95	XXS	-	53,16	79,22	2800	197	2800	197

Fuente: elaboración propia.

Según la norma ANSI la deformación máxima permisible es:  $\Delta \max = \frac{L}{3600}$  de luz considerando que la deformación máxima de una viga simplemente apoyada es:  $\Delta \max = \left(\frac{5\omega L^4}{384EI}\right)^{\frac{1}{4}}$ ; entonces igualando ambas ecuaciones se tiene:

$$\begin{aligned}\frac{L}{3600} &= \left(\frac{5\omega L^4}{384EI}\right)^{\frac{1}{4}} \\ \frac{384EI}{3600} &= 5\omega L^3 \\ \frac{0,10667EI}{5\omega} &= L^3 \\ \frac{0,0213EI}{\omega} &= L^3\end{aligned}$$

Ahora se puede establecer que la distancia entre soportes está dada por la siguiente ecuación:

$$L = \left[\left(\frac{0,0213EI}{\omega}\right)\right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- E= módulo de elasticidad
- I = momento de inercia

Según la norma AISC la deformación máxima permisible es:  $\Delta \max = \frac{L}{1000}$  de luz *considerando* que la deformación máxima de una viga simplemente apoyada es:  $\Delta \max = \left[\left(\frac{5\omega L^4}{384EI}\right)\right]^{\frac{1}{4}}$ ; entonces igualando ambas ecuaciones se tiene:

$$\frac{L}{1000} = \left(\frac{5\omega L^4}{384EI}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\frac{384 EI}{1000} = 5\omega L^3$$

$$\frac{0,384EI}{5\omega} = L^3$$

$$\frac{0,0768EI}{\omega} = L^3$$

Ahora se puede establecer que la distancia entre soportes es:

$$L = \left[ \left( \frac{0,0768EI}{\omega} \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- E= módulo de elasticidad
- I = momento de inercia

La frecuencia de los soportes de tubería varía de acuerdo al diámetro de la tubería; el material, y si está en posición vertical u horizontal.

Generalmente los soportes de tubería deben cumplir la norma UK: BS 3974, parte 1, 1974: soportes colgados, deslizantes y de patín.

Puntos importantes a tomar en cuenta:

- Los soportes deben ir montados en las uniones de tuberías, (curvas, t, válvulas y bridas), y a intervalos no mayores de los mostrados en la tabla XXVIII. Esto eliminara las tenciones o esfuerzos en juntas roscadas o con bridas.

- Cuando hay dos o más tuberías soportadas por un accesorio común, la distancia entre puntos de soporte debe ser la adecuada para la tubería de menor tamaño.
- Cuando el movimiento vaya a ser consistente, como en tramos de tubería de longitud superior a 15 m, los soportes deberán ser de tipo patín.
- Las tuberías verticales deben soportarse adecuadamente en la base, para aguantar todo el peso de la tubería. Las derivaciones de las tuberías verticales no deben utilizarse como medio de soporte de la tubería, debido a que esto causaría excesivos esfuerzos sobre las uniones en T.
- Todos los soportes deben estar específicamente diseñados para adaptarse al diámetro exterior de la tubería en cuestión.

Tabla XXVIII. **Soportes recomendados para tubería**

Diámetro nominal (mm) Acero/Cobre		Intervalo de recorrido horizontal (m)		Intervalo de recorrido vertical (m)	
∅ interior	∅ exterior	Acero suave	Cobre	Acero suave	Cobre
12	15		1,0		1,2
15	18	2,0	1,2	2,4	1,4
20	22	2,4	1,4	3,0	1,7
25	28	2,7	1,7	3,0	2,0
32	35	2,7	1,7	3,0	2,4
40	42	3,0	2,0	3,6	2,4
50	54	3,4	2,0	4,1	2,4
65	67	3,7	2,0	4,4	2,9
80	76	3,7	2,4	4,4	3,2
100	108	4,1	2,7	4,9	3,6
125	133	4,4	3,0	5,3	4,1
150	159	4,8	3,4	5,7	
200	194	5,1		6,0	
250	267	5,8		5,9	

Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac. p. 70.*

### 3.5.11. Plan de mantenimiento

Mantener a los equipos en óptimas condiciones requiere de una tarea en conjunto que conlleva una gran responsabilidad; esto implica llevar el control de los registros de mantenimiento, del combustible, calibración de los equipos y el control en la calidad del agua.

El mantenimiento en el sistema de distribución debe incluir:

- Tratamiento del agua. El agua de alimentación de la caldera debe ser tratada de lo contrario se formarán incrustaciones lo que afectara la eficiencia y generara corrosión.

- Retorno de condensado. Adicionalmente se requiere entre un 15 % y 18 % de la energía de la caldera desde el sistema de generación y distribución de vapor para recalentar cada libra de agua fría de repuesto.
- Medidores y registros de control de la calidad del vapor. Realizar inspecciones del sistema general de distribución en cada punto del sistema y en cada uno de los procesos individuales para mantener un buen balance de vapor.
- El costo del mantenimiento en la calidad del agua, del vapor y verificar que no existan fugas en las uniones de las tuberías, así como de válvulas, requiere una inversión mínima. Si se proporcionar un mantenimiento cuidadosamente y de buena calidad a los equipos se obtendrán ahorros por mantenimiento correctivo y repuesto.
- Control de fugas de vapor. Si el sistema de distribución no recibe un mantenimiento adecuado siempre existirán fugas que proporcionarán caídas de presión, costos por combustible y de agua. Corregir todo tipo de fugas y anomalías representa un ahorro para la empresa.
- Control de trampas de vapor. Un buen control del manejo de las trampas hará que estas funcionen de manera eficiente, además de tener los manómetros calibrados y tener la presión adecuada garantiza que una trampa de vapor realice su función para la que fue diseñada.
- Verificar aislamiento en tuberías. Es importante que todo el sistema cuente con aislamiento para evitar pérdidas de calor; al evitarlas, se mejora la eficiencia calorífica y se reducen los costos por consumo de

combustible y de agua lo que tendrá un descenso en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

- Realizar inspecciones periódicas de los sistemas de control y de los instrumentos de medición.
- Revisar el sistema de distribución para detectar fugas de vapor, ruidos y vibraciones.
- Medir la temperatura en las líneas de vapor principal.
- Tener los instrumentos de medición calibrados.
- Verificar hojas de registro y calidad del combustible.
- Verificar los registros de nivel y temperatura.
- Realizar cambio periódico de filtro de combustible en caldera.
- Capacitar al operador en temas relacionados a la caldera.

El mantenimiento en los equipos constituye mejorar su funcionamiento, corregir o en un extremo revivirlos, por lo que es importante realizarlo de forma concreta con el fin de que permita mejorar el aprovechamiento de los recursos. A continuación, se describen tres tipos de mantenimiento:

- **Mantenimiento preventivo:** Este tipo de mantenimiento previene fallas en los equipos, si se realiza de forma periódica, evita paros no programados y ejecuta un plan de mantenimiento.

Al realizar el mantenimiento preventivo se obtienen los siguientes beneficios:

- Se reducen las fallas y tiempos muertos
- Se incrementa la disponibilidad de equipos e instalaciones
- Se mejora la utilización de los recursos
- Se reducen los niveles de inventario
- Se obtienen ahorros económicos

Mantenimiento correctivo: se utiliza cuando un equipo falla, necesita ser reparado o corregido. No requiere ningún tipo de planificación, lo único que se necesita es ir atendiendo los problemas que necesitan ser reparados dentro del proceso de producción. Este tipo de mantenimiento presenta el problema que para realizarlo casi siempre hay que paralizar la producción, lo que genera pérdidas para la empresa, retrasos en producción, costos en repuestos y tiempo invertido. Para que su proceso no sea tan pesado, es necesario que los niveles de stock en el departamento de mantenimiento estén bien equipados contando con los encargados de mantenimiento necesarios para reparar cualquier avería en un tiempo mínimo.

- Mantenimiento predictivo: es utilizado para detectar o pronosticar una falla en algún componente de una máquina y que mediante un plan de trabajo se pueda solucionar antes de que pueda fallar. Con este análisis se reducen tiempos muertos por paros, se reducen costos futuros y tiempo invertido de mano de obra en reparación.

Realizar un mantenimiento de forma periódica garantiza tener en buen estado los equipos, minimizar los paros por reparación en producción, disminución de gastos por repuestos y tener siempre dispuestos los equipos.

A continuación, se presentan algunas propuestas de formatos de hojas de mantenimiento para el área de la caldera y del sistema de distribución de vapor:

**Tabla XXIX. Hoja de control de agua de alimentación**

Control de agua de alimentación para la caldera 			
Fecha:		Operario:	
Turno:			
Actividad	Tarea	ppm	Observaciones
1	Dureza		
2	Sodios disueltos		
3	Sólidos suspendidos		
4	Concentración materia orgánica		
5	Potencial de hidrógeno		
6	Concentración oxígeno		
7	Silicatos		

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXX. Control de parámetros de tubería**

Control de mantenimiento de la tubería 			
Fecha:		Operario:	
Turno:		Supervisor:	
Actividad	condiciones		Observaciones
	Bueno	Malo	
1	Verificar manómetros		
2	Verificar fugas de vapor en tuberías		
3	Verificar aislante en tuberías		
4	Verificar niveles de temperatura		
5	Verificar soportes		
6	Verificar juntas		
7	Verificar estado de trampa de vapor		
8	Verificar conexiones y bridas en tuberías		

Fuente: elaboración propia.

### **3.6. Recolección de condensado**

El condensado de vapor es agua de alta calidad, a una temperatura moderadamente alta, por lo que es necesario recuperar la máxima cantidad que sea posible para volver a utilizarla en la caldera. Cuando la temperatura del agua de alimentación es baja, puede deberse a un bajo volumen de retorno de condensados, falta de aislamiento en la tubería de retorno de condensados, o a pérdidas energéticas en el tanque de almacenamiento.

En el sistema y procesos donde el condensado no se contamine, se debe reutilizar todo para economizar, a fin de ahorrar: calor, productos químicos usados para tratamiento de agua, agua de repuesto y para reducir purgas de la caldera.

Del retorno de condensado se tienen beneficios en el ahorro de combustible que pueden ser estimados en la tabla XXXIII. Por ejemplo, la temperatura del agua de alimentación puede ser incrementada a 90 °C, aumentando el retorno de condensados, del 25 % al 100 % se podría tener un ahorro de: 9,1 % del combustible de la caldera, de acuerdo a los datos de tabla XXXIII. A este ahorro se debe añadir el ahorro energético por la disminución de las pérdidas en la purga de la caldera.

Cuando la caldera reciba condensado contaminado, este se debe desechar por medio de un sistema de control automático, basado generalmente en la medición de la conductividad eléctrica del condensado.

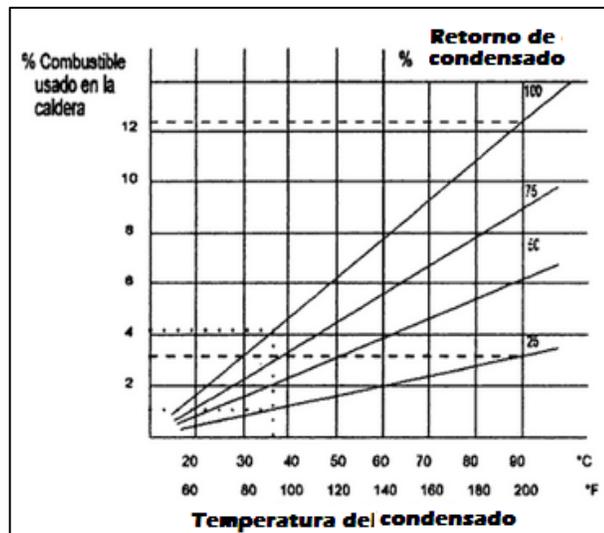
Recolectar el condensado dependerá de la descarga de una o más trampas de vapor en el sistema de tuberías, siendo importante que la tubería no

interfiera con la operación propia de las trampas de vapor. El diseño de un sistema de retorno de condensado debe considerar los siguientes elementos:

- Arreglo general
- Manejo de condensado
- Tamaño de la tubería
- Elevación del condensado
- Inundación de líneas de retorno

En la siguiente tabla se muestra el ahorro de combustible a causa de retornar el condensado.

Figura 38. **Ahorro de combustible a causa de retornar el condensado**



Fuente: SOTO CRUZ, Juan José. *Fundamentos sobre ahorro de energía*. p. 170.

El sistema de retorno de condensado no debe ocasionar contrapresión o debe ser mínima en las trampas de vapor, además que las tuberías permitan

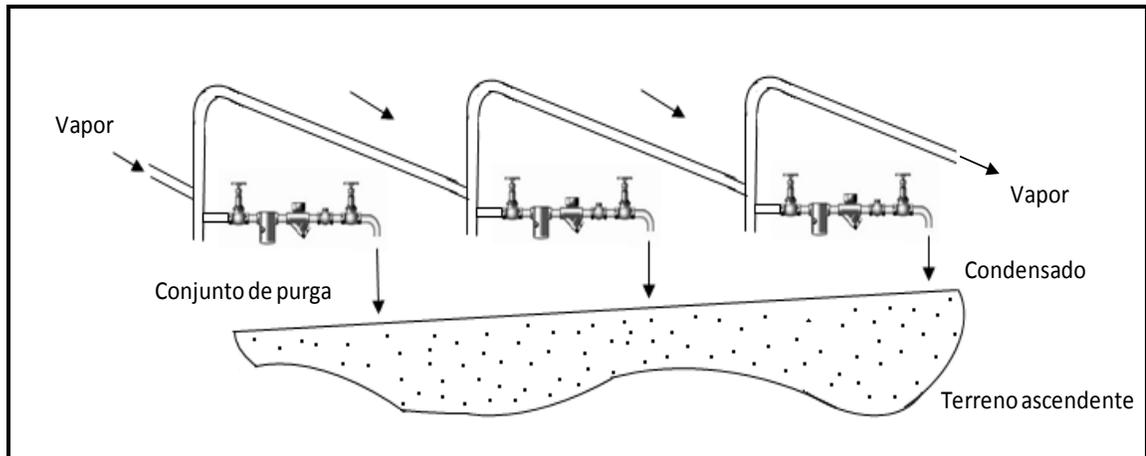
que el condensado fluya siempre por gravedad. Una peña pendiente será suficiente para vencer la resistencia de la fricción de la tubería cuando transporte el máximo flujo; de esa forma las trampas, libres de la compresión, serán capaces de descargar el condensado, aun a la baja presión que se tiene durante el inicio de la operación.

Es muy importante eliminar las burbujas de aire del sistema de retorno de condensado. La pendiente de la tubería además de asegurar que el condensado fluirá por gravedad, permitirá del espacio libre a través del cual el aire podrá escapar por venteos instalados en los puntos altos de la tubería.

Instalar puntos de recolección de condensado tiene las siguientes ventajas:

- Las trampas están sujetas a contrapresiones, lo que resulta particularmente importante cuando las longitudes de la tubería de retorno son considerables.
- Si se cuenta en el tanque de recuperación con un eliminador de aire atmosférico, se podrá tener un indicador de las condiciones a que descargan las trampas dentro del tanque.

Figura 39. **Inclinación de tubería para recolectar condensado**



Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 71.

Es prudente asegurarse de que el tamaño de la tubería es suficiente, en el tramo ascendente, para no reducir velocidad a menos de 15 m/s. Además, la distancia entre puntos de purga debe reducirse a no más de 15 metros. El objetivo es evitar la película de condensado en la parte inferior de la tubería, que iría aumentando en espesor hasta el punto de que el vapor arrastraría gotitas de condensado.

### 3.7. Análisis

A continuación, se realiza un análisis más detallado de diferentes puntos concernientes al combustible, caldera, tubería de vapor, entre otros.

### **3.7.1. El combustible**

El combustible utilizado actualmente por la caldera es *bunker* tipo C, el cual se obtiene de la destilación y refinación de los hidrocarburos, es un combustible económico comparado con otros derivados del petróleo y, es por tal razón, que es utilizado en la caldera. Su poder calorífico es una función directa del crudo de origen, pero se puede establecer un promedio de 150 000 BTU/gal.

Se cuenta dentro de las instalaciones con un tanque de almacenamiento de Bunker con capacidad de 5 500 galones y antes de ser suministrado a la caldera es precalentado mediante un precalentador que hace que el combustible tenga una mejor combustión.

Seleccionar que tipo de combustible es el ideal para la caldera abarca varios puntos importantes como lo es la calidad del combustible, la disponibilidad del lugar donde esté ubicada la empresa, requerimientos de operación y economía.

Figura 40. **Tanque de combustible *bunker* tipo C**



Fuente: elaboración propia.

Existen diferentes tipos de combustibles para calderas, a continuación, se describen algunos de ellos:

- **Bagazo de caña:** el bagazo de caña se obtiene a partir de la extracción del jugo de la caña de azúcar, es muy fibroso y se quema como los desperdicios de la madera. Este bagazo puede proporcionar en general, todos los requerimientos de un buen combustible.
- **Carbón mineral:** es un combustible orgánico no homogéneo, el cual se origina a partir de los restos en descomposición de materia vegetal. Es el combustible fósil más utilizado en la generación de vapor, por su amplia disponibilidad y bajo costo.

- Gas natural: el gas natural se obtiene a partir de formaciones geológicas de una mezcla de gases de combustión e inertes. Contiene de 75 % a 95 % de metano y menor porcentaje de hidrocarburos en adición a otros componentes no inflamables, tales como dióxido de carbono y helio.
- Gas licuado de petróleo (GLP): se utiliza principalmente como combustible, en procesos industriales, como combustible para calderas y para generación eléctrica. Una gran ventaja es que no emite material particulado (MP), no deja residuos ni productos sulfurados; está libre de plomo y de otros productos contaminantes. El GLP está compuesto de un 60 % de la extracción de gas natural y petróleo, mientras que el otro 40 % se obtiene durante el proceso de refinamiento del petróleo crudo.
- Madera y leña: este tipo de recurso se obtiene directamente de los árboles, incluye troncos y ramas. Al quemar la leña la energía liberada es utilizada como fuente térmica. Posee un poder calorífico de 15 071,14 KJ/Kg y en condiciones recién cortada de los arboles tiene de 30 % a 50 % de humedad, después de secarse durante un año, el contenido de humedad se reduce de 25 % a 18 %.

### **3.7.2. Consumo de vapor en área de corrugación**

Todo el vapor generado por la caldera es absorbido por las tres secciones de la maquina corrugadora, sección C, B y doble. El vapor es esencial para ablandar el papel y para secarlo, a diario se consumen grandes cantidades de vapor, por lo que es muy importante conocer exactamente la cantidad de libras de vapor por hora que se consume en las tres áreas.

El análisis consiste en hacer una relación de la cantidad de galones de combustible consumidos por hora y el poder calorífico del combustible, para este caso es *Bunker* tipo C.

Cálculos:

- Datos:
  - Tipo de combustible = *Bunker* tipo C
  - Galones de combustible consumidos por hora: 50 gal/h
  - Poder calorífico del combustible *Bunker* tipo C: 150 000 BTU/gal

$$\text{Consumo de vapor por hora} = \left(\frac{50 \text{ gal}}{h}\right) \times \left(\frac{150,000 \text{ BTU}}{\text{gal}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ Lb vapor}}{1,000 \text{ BTU}}\right)$$

$$\text{Consumo de vapor por hora} = 7\,500 \text{ Lb vapor/h}$$

La caldera está generando 7 500 Lb vapor/h. Esta cantidad de vapor sirve para abastecer a las tres secciones de la maquina corrugadora.

Cálculo de libras de vapor producidas por día:

- Horas trabajadas al día: 15 horas

$$\text{Vapor generado por día} = (15 \text{ h}) \times \left(\frac{7,500 \text{ Lb vapor}}{h}\right)$$

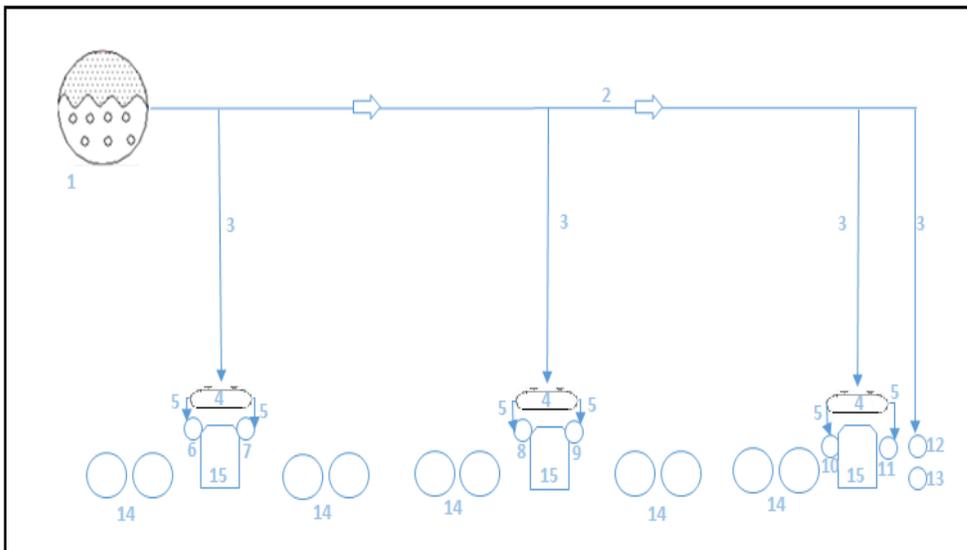
$$\text{Vapor generado por día} = 112,500 \text{ Lb vapor}$$

### 3.7.3. Capacidad del vapor de la caldera

Antes de entrar de lleno a este análisis, cabe mencionar que, en las tres secciones, C, B Y doble, cuando se corrugan láminas de pared simple están trabajando únicamente los cilindros precalentadores, 6, 7, 10, 11, 12 y 13. Estos cilindros desprenden vapor constantemente sin detenerse, trabajando 15 horas al día.

Pero cuando se corrugan láminas de cartón de doble pared, se ponen a trabajar otros dos cilindros precalentadores de papel, uno para la sección B y otro para la sección doble. Estos cilindros son el 8 y 9, y trabajan en promedio 8 horas al día, ver figura 38, por lo que el consumo de vapor es repartido dentro de ocho cilindros.

Figura 41. **Esquema de la distribución de vapor en el área de corrugación**



Fuente: elaboración propia.

- 1 - Caldera
- 2 - Tubería principal de vapor
- 3 - Líneas de derivación de vapor
- 4 - Cabeza pequeño de vapor
- 5 - Ramales de vapor cortas
- 6 al 13 - cilindros precalentadores de vapor
- 14 - Bobinas de papel
- 15 - Tableros de control de cada sección

Análisis para las cuatro secciones, C, B y doble de la máquina corrugadora:

Tabla XXXI. **Consumo de vapor en secciones C y doble**

Corrugado simple				
Parámetros	Sección C	Sección B	Sección doble	Total al día
	Cilindros 6 y 7		Cilindros 10, 11, 12 y 13	
Horas trabajado corrugado simple	7		7	15
Lb vapor/h producidas en Caldera	7,500			112,500
Consumo de vapor en cada área/hora	1,250		1,250	112,500

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Consumo de vapor en secciones C, B y doble**

Corrugado doble				
Parámetros	Sección C	Sección B	Sección doble	Total al día
	Cilindros 6 y 7	Cilindros 8 y 9	Cilindros 10, 11, 12 y 13	
Horas trabajando corrugado doble	7	8	7	15
Lb vapor/h producidas en Caldera	7,500			112,500
Consumo de vapor en cada área/hora	937.5	937.5	937.5	112,500

Fuente: elaboración propia.

Ahora se procede a calcular los caballos de caldera, BHP:

$$\text{BHP} = \left( \frac{7500 \text{ LB vapor}}{h} \right) \times \left( \frac{1 \text{ BHP}}{34.5 \text{ Lb vapor/h}} \right) = 218 \text{ BHP}$$

Luego de este análisis es importante tomar en cuenta un factor de ampliación equivalente a un 25 %, tomando en cuenta que el supervisor de producción calcula que dentro de un par de años la producción habrá aumentado lo que obligaría a expandirse.

Este factor de ampliación servirá para determinar la capacidad de la caldera por posibles ampliaciones en un futuro; es decir, si en dado caso la empresa aumentara su producción, así mismo, aumentaría el consumo de

vapor, lo que obligaría a seleccionar una nueva caldera que cumpla con los requerimientos que ellos exijan, cumpliendo a cabalidad el incremento de vapor.

Además, se debe calcular el factor de evaporación, EF, el cual indica una corrección para la producción de vapor, ya que, en vez de partir de agua con temperatura de saturación a presión atmosférica, se parte con agua a temperatura menor y presión atmosférica, lo que hace que la caldera pueda tener mayor capacidad. Para obtener este factor se deben tener en cuenta las condiciones de presión de operación de la caldera y de la temperatura del agua de alimentación.

La ecuación que representa este factor de evaporación está dada como:

$$FE = \left( \frac{\text{evaporación nominal}}{\text{evaporación real}} \right)$$

Para este estudio los datos obtenidos son los siguientes: temperatura de 73 °C y presión de 150 psi.

Tabla XXXIII. Factor de evaporación

TEMP	PRESIÓN (psi)															
	°C	5	10	20	50	70	90	100	110	130	150	170	190	200	225	250
0	1,19	1,19	1,2	1,214	1,219	1,223	1,225	1,226	1,229	1,231	1,233	1,235	1,236	1,237	1,239	
4,4	1,8	1,18	1,19	1,206	1,211	1,215	1,217	2,218	1,221	1,223	1,225	1,227	1,227	1,229	1,231	
10	1,17	1,17	1,18	1,96	1,201	1,205	1,206	1,208	1,211	1,213	1,215	1,216	1,217	1,219	1,22	
15,6	1,16	1,16	1,17	1,185	1,19	1,194	1,196	1,198	1,2	1,202	1,204	1,206	1,207	1,209	1,21	
21,1	1,15	1,15	1,16	1,175	1,18	1,184	1,184	1,86	1,187	1,19	1,192	1,194	1,196	1,198	1,2	
26,7	1,14	1,14	1,15	1,162	1,17	1,174	1,176	1,177	1,18	1,182	1,184	1,185	1,186	1,88	1,89	
32,2	1,13	1,13	1,14	1,154	1,16	1,164	1,165	1,167	1,17	1,172	1,173	1,175	1,176	1,178	1,179	
37,8	1,12	1,12	1,13	1,144	1,149	1,153	1,155	1,156	1,159	1,161	1,163	1,165	1,166	1,167	1,169	
43	1,11	1,11	1,12	1,134	1,139	1,143	1,145	1,146	1,149	1,151	1,153	1,155	1,155	1,157	1,159	
49	1,1	1,1	1,11	1,124	1,129	1,133	1,134	1,136	1,139	1,141	1,143	1,144	1,145	1,147	1,148	
54	1,09	1,09	1,1	1,113	1,118	1,123	1,124	1,126	1,128	1,13	1,132	1,134	1,135	1,137	1,138	
60	1,08	1,08	1,09	1,03	1,108	1,112	1,114	1,115	1,118	1,12	1,122	1,124	1,125	1,126	1,128	
66	1,07	1,08	1,08	1,093	1,098	1,102	1,104	1,105	1,108	1,11	1,112	1,114	1,114	1,116	1,118	
71	1,06	1,07	1,07	1,082	1,088	1,092	1,093	1,095	1,097	1,1	1,102	1,103	1,104	1,106	1,107	
77	1,05	1,06	1,072	1,077	1,081	1,081	1,083	1,084	1,087	1,089	1,091	1,093	1,094	1,095	1,097	
82	1,04	1,04	1,05	1,062	1,067	1,071	1,073	1,074	1,077	1,079	1,081	1,083	1,083	1,085	1,087	
88	1,03	1,03	1,04	1,052	1,057	1,061	1,062	1,064	1,066	1,069	1,071	1,072	1,073	1,075	1,076	
93	1,02	1,02	1,03	1,041	1,047	1,05	1,052	1,053	1,056	1,058	1,06	1,062	1,063	1,064	1,066	
99	1,01	1,01	1,02	1,031	1,036	1,04	1,042	1,043	1,046	1,048	1,05	1,052	1,052	1,054	1,056	

Fuente: ALVARADO, Romel. *Cálculo de sistema de vapor para la industria de concentrado de maracuyá*. p. 169.

De la tabla XXXV y con la temperatura de 73 °C y presión de 150 psi se puede calcular el factor de evaporación:

Interpolando:

Tabla XXXIV. **Interpolación de temperatura vs factor de evaporación**

T (°C)	FE
71	1,1
73	x
77	1,089

Fuente: elaboración propia.

$$X = 1,1 + (73 - 71) \left( \frac{1,089 - 1,1}{77 - 71} \right)$$

$$X = 1,096$$

Con este resultado, se puede ahora obtener la evaporación nominal o capacidad nominal, y anteriormente se calculó el consumo de vapor o evaporación real que se consume en el área de corrugación; esta es de 218 BHP.

Por lo que al despejar la evaporación nominal de la ecuación 11 se obtiene:

$$\text{Evaporación nominal} = (218 \text{ BHP}) (1,096)$$

$$\text{Evaporación nominal} = 239 \text{ BHP}$$

El resultado anterior indica que, al momento de elegir un generador de vapor, este tendrá que cumplir con el requerimiento de 239 BHP.

#### **3.7.4. Rendimiento de la caldera**

El rendimiento está dado por la relación entre el calor transmitido al agua dentro de la caldera y la energía suministrada por el combustible; entonces, se procede a calcular de la siguiente manera:

Datos:

- Presión: 10,3 bar
- Temperatura de agua de alimentación: 73 °C
- Producción: 3 401, 94 kg vapor/ h
- Poder calorífico bunker: 150 000 BTU/gal
- Consumo: 50 gal/h
- $h_v = ?$
- $h_{fe} = ?$

Antes de seguir con el procedimiento se debe calcular  $h_v$  y  $h_{fe}$  de las tablas de vapor (ver anexo tablas de vapor).

De las tablas de vapor (ver anexos)  $h_v$  a presión de 10,3 bar y  $h_{fe}$  a temperatura de 73 °C.

Interpolando:

Tabla XXXV. Interpolación de temperatura vs líquido saturado

T (°C)	hf
70	292,98
73	x
75	313,93

Fuente: elaboración propia.

$$X = 292,98 \text{ KJ/kg} + (73 - 70(^{\circ}\text{C})) \left( \frac{313,93 - 292,98}{75 - 70 (^{\circ}\text{C})} \right) (\text{KJ/kg})$$

$$X = 305,55 \text{ KJ/kg}$$

- $h_v = 2\,278,1 \text{ KJ/kg}$  y
- $h_{fe} = 306,75 \text{ KJ/kg}$

Utilizando la ecuación 6, se tiene:

$$n = \frac{P_v(h_v - h_{fe})}{b \times \text{PCI}} \times 100$$

$$n = \frac{(3\,401,94 \frac{\text{Kg vapor}}{\text{h}})(2\,278,1 \text{ KJ/kg} - 305,55 \text{ KJ/kg})}{\left(\frac{50 \text{ gal}}{\text{h}}\right) \times \left(\frac{150,000 \text{ BTU}}{\text{gal}}\right)} \times 100$$

$$n = \frac{(3\,401,94 \text{ Kg})(1\,972,55 \text{ KJ/kg})}{(7\,907\,625 \text{ KJ})} \times 100$$

$$n = 84,8 \%$$

Algunas recomendaciones que se deben tomar en cuenta para reducir el consumo energético:

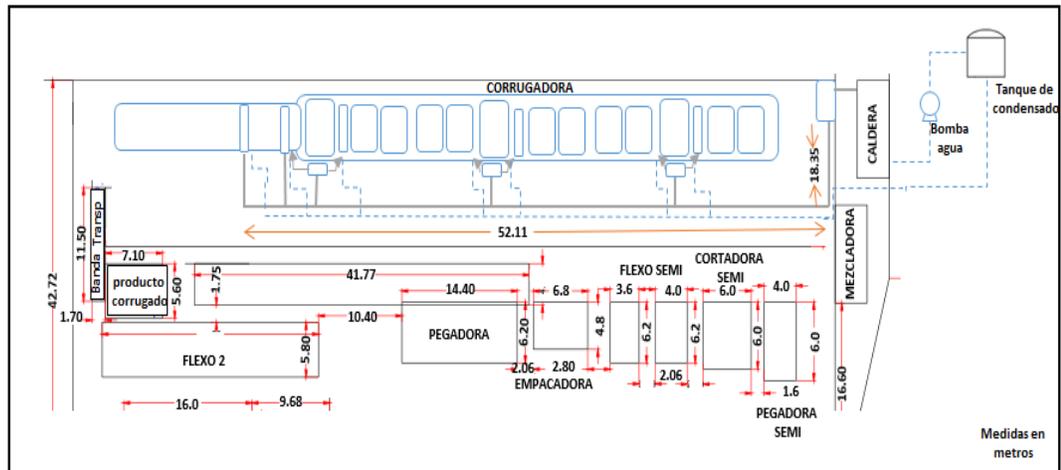
- Medir temperatura de los gases de chimenea.
- Analizar el porcentaje de inquemados en cenizas y escorias.
- Analizar el porcentaje de oxígeno en los gases, lo cual es un indicativo del exceso de aire de combustión.
- Medir la temperatura de las paredes.
- Examinar la calidad del vapor por arrastre de agua.
- Vigilar el caudal de purgas continuas y de fondo.
- Cuantificar las paradas por averías.
- Controlar la calidad del combustible.
- Revisar fugas de vapor.
- Distribuir uniformemente el carbón y aire en la zona de combustión.
- Verificar los detectores de llama de los quemadores, los cuales deben permanecer siempre limpios.

### **3.7.5. Diseño de red de vapor**

En los incisos anteriores se hizo el cálculo del consumo de vapor, la capacidad de la caldera, el rendimiento térmico, entre otros. Entonces, para este estudio de diseño, siendo un sistema de alta presión y dado que la presión de trabajo se encuentra a presiones superiores, 150 psi (10,3 bar), debe manejarse la caída de presión a 2 psi (0,14 bar) para la tubería principal.

Lo que llegaría a cada sección de la máquina serían 148 psi (10,2 bar).

Figura 42. Diseño de red de vapor



Fuente: elaboración propia.

### 3.7.6. Determinación de diámetros para tuberías

Todos los accesorios de tubería (codos, válvulas, tees, reducciones, entre otros) introducen una pérdida de carga al paso del fluido que circula por ellas.

Lo más habitual para calcular las pérdidas por cargas es realizar una aproximación que introduce errores muy pequeños en el cálculo de la instalación. Esta aproximación se realiza mediante la tabla XXXVII que asigna a cada tipo de componente una longitud equivalente.

Esta longitud equivalente consigue expresar cada accesorio en función de cierto número de codos, 90° radio normal.

Un codo de 90° de radio normal = 25 veces el diámetro nominal de la tubería.

Y está dada por la ecuación:

Donde:

$$L.E = \text{No. Codos} * 25 * (d/12)$$

- d = diámetro en pulgadas
- 12 = conversión a pies

Tabla XXXVI. **Accesorios de tubería para longitud equivalente**

ACCESORIO	CODOS	
	ACERO	COBRE
Válvula de ángulo	2.0	3.0
Válvula de globo	12.0	17.0
Válvula de compuerta	0.5	0.7
Te 100% reducción	1.8	1.2
Te 50% reducción	4.0	4.0
Te 33% reducción	9.0	11.0
Te 25% reducción	16.0	20.0
Codo 90° radio normal	1.0	1.0
Codo 90° abierto	0.5	0.5
Codo 45°	0.7	0.7
Retorno U, abierto	1.0	1.0
Reducción	0.4	0.4

Fuente: curso de instalaciones mecánicas 2,014

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo calcular la longitud equivalente:

- Longitud de la tubería principal = 231,17 pies
  - 5 codos 90° normales
  - 2 codos de 45°
  - diámetro = 6"

De la tabla XXXVII se obtienen los codos equivalentes:

- $5 * 1 = 5$
- $2 * 0,7 = 1,4$
- Total longitud accesorios (codos) = 6,4
  - $L.E = 6,4 * 25 * (6"/12)$
  - $L.E = 80 + 231,17 \text{ pies} = 311,17 \text{ pies}$

En la tabla XL se muestran datos obtenidos en el área de corrugación (longitud de la tubería principal, ramales de vapor y accesorios); también, se determinó la longitud equivalente en cada accesorio a partir de los diámetros medidos en planta.

- Cédula 40

Tabla XXXVII. **Calculo de longitud equivalente**

Tramo de tubería	Accesorio	Diámetro (Pulg)	Cantidad	Codo equivalente	Longitud por accesorio (pulg)	Longitud de tubería (pies)	Longitud equivalente (pies)
Tubería principal	Codo 90°	6	5	1	5	231,17	#¡VALOR!
Tubería principal	Codo 45°	6	2	0,7	#¡VALOR!		
Ramal sección C	Codo 90°	2,5	2	1	2	12,46	#¡VALOR!
Ramal sección B	Codo 90°	2,5	2	1	2	11,65	#¡VALOR!
Ramal sección doble	Codo 90°	2,5	2	1	2	10,33	#¡VALOR!
Ramal sección doble	Codo 90°	2,5	3	1	3	10,67	#¡VALOR!
Ramal sección doble	Valvula globo	2,5	1	12	12		
Cabezal sección C	Codo 90°	1,5	6	1	6	5,62	#¡VALOR!
Cabezal sección B	Codo 90°	1,5	6	1	6	5,62	#¡VALOR!
Cabezal sección doble	Codo 90°	1,5	6	1	6	4,65	#¡VALOR!

Fuente: elaboración propia.

Longitud equivalente de la tubería principal de vapor = 311, 17 pies = 94, 84 metros.

Una vez hecho el cálculo de longitud equivalente de la tubería principal de vapor es importante dimensionar la tubería, para ello se necesita; la presión de trabajo, la velocidad del vapor y la caída de presión.

Tabla XXXVIII. **Rango permisible de velocidades en sistemas de tuberías**

PRESIÓN Bar	Velocidad Máxima Recomendable m/s	
	SATURADO	RECALENTADO
< 2	30	35
2 - 5	35	45
5 - 10	40	50
10 - 25	50	60
25 - 100	60	75

Fuente: GUZMÁN ORTIZ, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac. p. 72.*

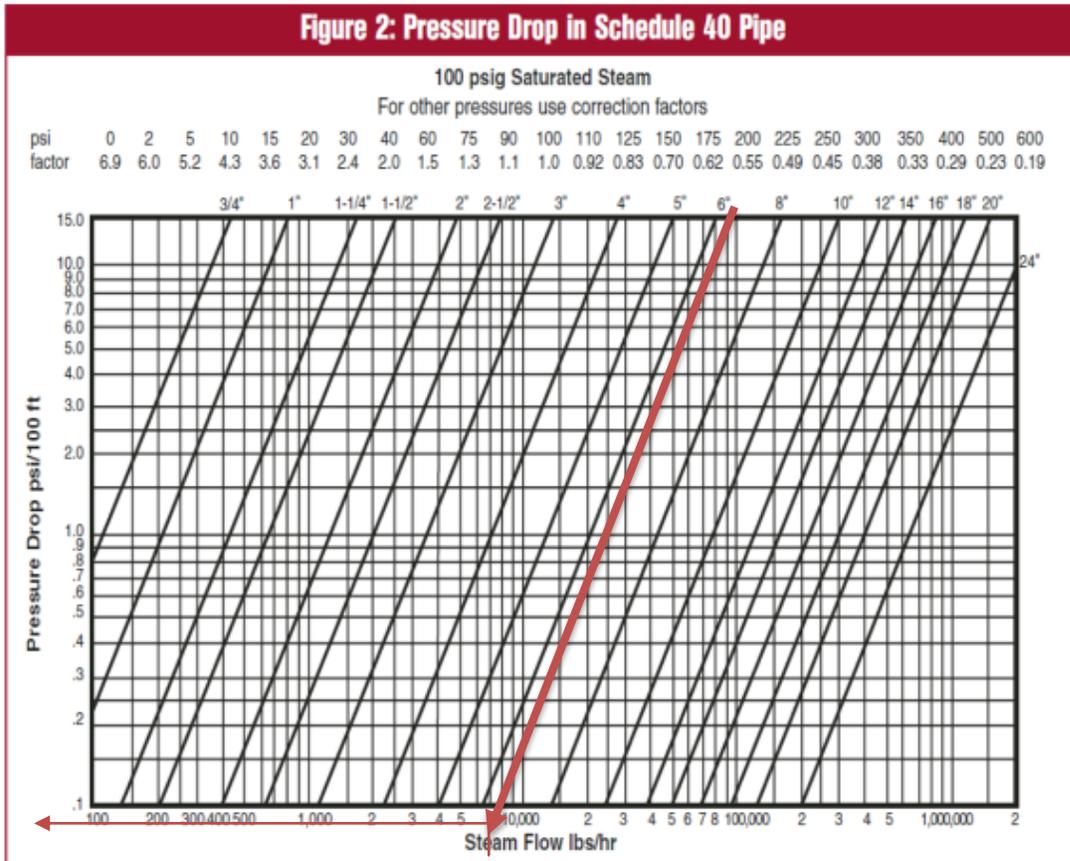
Para tuberías de distribución de vapor saturado seco, son más razonables las velocidades entre 25 – 40 m/s (80 – 130 pies/s) pero deben considerarse como máximo sobre el cual permanecen el ruido y la erosión, principalmente si el vapor es húmedo.

Si la tubería tiene más de 100 metros de longitud y su recorrido es relativamente recto, el aumento proporcional por accesorios será de un 10 %.

Pero si la longitud es menor, también relativamente recta, requiere un aumento del 20 %.

En la tabla XL se muestra el diámetro de tubería y el caudal de vapor vs la caída de presión. Con esta tabla se podrá obtener la caída de presión en la línea de vapor principal, así como de los ramales.

Tabla XXXIX. Gráfica para cálculo de caídas de presión



Fuente: Spirax Sarco. *Manual de diseño de sistemas de fluidos*. p. 15.

Con los datos obtenidos: caudal de vapor = 7 500 libras vapor/h, diámetro de 6" y la presión de trabajo de 150 psi (10,3 bar), se puede calcular la caída de presión en la tubería principal.

Para encontrar el valor de la caída de presión se debe buscar en la parte inferior de la gráfica las LV/h (7 500), una vez localizado este valor, se sube verticalmente hasta intersecar con la línea inclinada proveniente de los diámetros, para este caso es la línea de 6".

Por último, luego de la intersección es necesario desplazarse hacia el lado izquierdo (siguiendo una línea imaginaria) hasta la columna de caídas de presión.

Una vez obtenida la caída de presión se debe multiplicar por la longitud de la tubería de vapor recta; adicionalmente, recuérdese que hay que agregar 10 % más de la longitud de la tubería recta, debido a que existen caídas de presión por los accesorios.

Otro punto importante a tomar en cuenta es que la gráfica de la tabla XLII está hecha para vapor saturado a 100 psi, pero para otras presiones se tiene que multiplicar la caída de presión por un factor de corrección.

Para este estudio la caída de presión es de 0,14 psi por cada 100 pies de longitud de tubería y el factor de corrección es de 0,7

Entonces, para la tubería principal con longitud de 311, 17 pies = 94, 84 metros y diámetro de 6" se tiene:

Factor de corrección = 0, 7

- Caída de presión =  $(\frac{0,14 \text{ psi}}{94,84 \text{ m}}) * (0,7) = 0,001033 \text{ psi/m}$
- Presión final de vapor = 150 psi – (94,84 m + 9,484 m) \* (0,001033 psi/m)

Presión final de vapor = 149 psi (10,27 bar)

Caída de presión en ramales de sección C, B Y doble hasta el cabezal.

Cabe mencionar que las libras de vapor por hora a utilizar serán las que se utilicen cuando se está realizando el corrugado doble, porque es ahí donde entran a funcionar otros dos cilindros precalentadores (figura 38).

- Sección C

- Diámetro = 2 ½.
- Caudal = 937,5 LV/h.
- Longitud = 12,46 pies = 3,8 m, y sumarle el 20 % debido a accesorios.
- Factor = 2,3.
- Caída de presión =  $\left(\frac{2,3 \text{ psi}}{3,8 \text{ m}}\right) * (0,7) = 0,42 \text{ psi/m}$ .
- Presión final de vapor = 149 psi – (3,8 m + 0,76 m) \* (0,42 psi/m).

Presión final de vapor = 147 psi (10,1 bar).

- Sección B

- Diámetro = 2 ½.
- Caudal = 937,5 LV/h.
- Longitud = 11,65 pies = 3,55 m, y sumarle el 20 % debido a accesorios.
- Factor = 2,3.
- Caída de presión =  $\left(\frac{2,3 \text{ psi}}{3,55 \text{ m}}\right) * (0,7) = 0,45 \text{ psi/m}$ .
- Presión final de vapor = 149 psi – (3,55 m + 0,71 m) \* (0,45 psi/m).

Presión final de vapor = 147 psi (10, 1 bar).

- Sección D
  - Diámetro = 2 ½.
  - Caudal = 937,5 LV/h.
  - Longitud = 10, 33 pies = 3, 15 m, y sumarle el 20 % debido a accesorios.
  - Factor = 2,3.
  - Caída de presión =  $(\frac{2,3 \text{ psi}}{3,15 \text{ m}}) * (0,7) = 0,51 \text{ psi/m}$ .
  - Presión final de vapor = 149 psi – (3,15 m + 0,63 m) \* (0,51 psi/m).

Presión final de vapor = 147 psi (10,1 bar).

- Sección D, última parte
  - Diámetro = 2 ½.
  - Caudal = 937,5 LV/h.
  - Longitud = 10,67 pies = 3,25 m, y sumarle el 20 % debido a accesorios.
  - Factor = 2,3.
  - Caída de presión =  $(\frac{2,3 \text{ psi}}{3,25 \text{ m}}) * (0,7) = 0,49 \text{ psi/m}$ .
  - Presión final de vapor = 149 psi – (3,15 m + 0,65 m) \* (0,49 psi/m).
  - Presión final de vapor = 147 psi (10, 1 bar).

El análisis demuestra que las caídas de presión están dentro de los parámetros según la tabla XLI de rangos permisibles; además, es importante hacer una comparación del diámetro obtenido dentro de la planta vs el cuadro de capacidades de tubería a velocidades específicas con el fin de verificar si la tubería actual dentro de la planta es la adecuada o está sobredimensionada.

Tabla XL. Capacidades de tubería a velocidades específicas

CAPACIDADES DE TUBERÍA A VELOCIDADES ESPECÍFICAS												
Presión	Velocidad	Lb/h										
Psig	Pie/s	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
5	50	12	26	45	70	100	190	280	410	750	1 250	1 770
	80	19	45	75	115	170	300	490	710	1 250	1 800	2 700
	120	29	60	110	175	245	460	700	1 000	1 800	2 900	4 000
10	50	15	35	55	88	130	240	365	550	950	1 500	2 220
	80	24	52	95	150	210	380	600	900	1 500	2 400	3 300
	120	35	72	135	210	330	590	850	1 250	2 200	3 400	4 800
20	50	21	47	82	123	185	320	520	740	1 340	1 980	2 900
	80	32	70	120	190	260	520	810	1 100	1 900	3 100	4 500
	120	50	105	190	300	440	840	1 250	1 720	3 100	4 850	6 750
30	50	26	56	100	160	230	420	650	950	1 650	2 600	3 650
	80	42	94	155	250	360	655	950	1 460	2 700	3 900	5 600
	120	62	130	240	370	570	990	1 550	2 100	3 950	6 100	8 700
40	50	32	75	120	190	260	505	790	1 100	1 900	3 100	4 200
	80	51	110	195	300	445	840	1 250	1 800	3 120	4 900	6 800
	120	75	160	290	460	660	1 100	1 900	2 700	4 700	7 500	11 000
60	50	43	95	160	250	360	650	1 000	1 470	2 700	3 900	5 700
	80	65	140	250	400	600	1 000	1 650	2 400	4 400	6 500	9 400
	120	102	240	410	610	950	1 660	2 600	3 800	6 500	10 300	14 700
80	50	53	120	215	315	460	870	1 300	1 900	3 200	5 200	7 000
	80	85	190	320	500	730	1 300	2 100	3 000	5 000	8 400	12 200
	120	130	290	500	750	1 100	1 900	3 000	4 200	7 800	12 000	17 500
100	50	62	130	240	360	570	980	1 550	2 100	4 000	6 100	8 800
	80	102	240	400	610	950	1 660	2 550	3 700	6 400	10 200	14 600
	120	150	350	800	900	1 370	2 400	3 700	5 000	9 100	15 000	21 600
120	50	74	160	290	440	660	1 100	1 850	2 600	4 600	7 000	10 500
	80	120	270	450	710	1 030	1 800	2 800	4 150	7 200	11 600	16 500
	120	175	400	680	1 060	1 520	2 850	4 300	6 500	10 700	17 500	26 000
150	50	90	208	340	550	820	1 380	2 330	3 220	5 500	8 800	12 900
	80	145	320	570	900	1 250	2 200	3 400	4 900	8 500	14 000	20 000
	120	120	215	450	1 280	1 890	3 400	5 300	7 500	13 400	20 600	30 000
200	50	110	265	450	680	1 020	1 780	2 800	4 120	7 100	11 500	16 300
	80	180	410	700	1 100	1 560	2 910	4 400	6 600	11 000	18 000	26 600
	120	250	600	1 100	1 630	2 400	4 350	6 800	9 400	16 900	25 900	37 000

Fuente: GUZMÁN, Roberto. *Curso de instalaciones mecánicas 2014*. p. 11.

Con los datos obtenidos: presión de 150 psi, las libras de vapor por hora (7 500 Lbv/h) y el diámetro de 6 pulgadas, se procede a buscar en la tabla LXI los valores para comparar el diámetro actual.

Como se observa para las especificaciones anteriores, una tubería con un diámetro de 5 pulgadas tiene la capacidad ideal para 8 800 Lbv/h a una velocidad de 50 pies/s, por lo que al comparar con los datos obtenidos observamos que el diámetro de la tubería que actualmente se utiliza está sobredimensionada y el diámetro ideal sería el de 5 pulgadas ya que tendría una capacidad adecuada para cubrir los 7 500 Lbv/h que se requieren.

Además, se deben calcular las pérdidas de calor en tuberías, es decir: la tubería debe transportar el flujo que requiere el equipo más la cantidad del vapor que se condensa debido a las pérdidas de calor.

Suponiendo que la tubería es razonable sumar 1 % del caudal de vapor de cada 30 metros de recorrido por pérdidas de calor; equivalentes a 3,4 % cada 100 metros.

Entonces, la longitud equivalente =  $94,84 \text{ m} \times 1.1 = 104,32 \text{ m}$

Si 100 m ----- 3,4 %

104,32 m -----x

$X = 3,55 \%$

Calor total,  $Q = (7\,500 \text{ Lbv/h}) (1,0355) = 7\,766,25 \text{ Lbv/h}$

### **3.7.7. Selección de trampa de vapor**

La trampa de vapor cumple con la función de una válvula automática, detectando la diferencia entre vapor y condensado. Su función es descargar el condensado sin permitir que se escape el vapor.

Al momento de seleccionar una trampa de vapor, la persona encargada deberá de tener en cuenta ciertas características y especificaciones:

Tabla XLI. **Especificaciones en la selección de trampa de vapor**

VARIOS TIPOS DE TRAMPAS DE VAPOR CUMPLEN REQUISITOS DE OPERACIÓN ESPECÍFICOS						
Características	Mecánica		Termodinámica	Termostática		
	Cubeta Invertida	Flote y Termostato	Disco	Expansión	Bimetálica	
1. Método de operación	Intermitente	Continuo	Intermitente	Continuo (1)	Continuo	
2. Conservación de energía (tiempo en servicio)	Excelente	Buena	Pobre	Aceptable	Aceptable	
3. Resistencia al desgaste	Excelente	Buena	Pobre	Aceptable	Aceptable	
4. Resistencia a la corrosión	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	
5. Resistencia al golpe de ariete	Excelente	Pobre	Excelente	Pobre	Excelente	
6. Venteo de aire y CO <sub>2</sub> a la temperatura de vapor	Sí	Sí	No	Sí	Sí	
7. Facilidad de comprobar buena operación	Excelente	Pobre	Excelente	Pobre	Pobre	
8. Habilidad de manejar cargas de aire al arrancar el sistema	Aceptable	Excelente	Pobre	Excelente	Excelente	
9. Operación con contrapresión	Excelente	Excelente	Pobre	Excelente	Excelente	
10. Resistencia al daño por congelamiento	Excelente	Aceptable	Buena	Buena	Buena	
11. Operación a baja carga	Excelente	Excelente		Excelente	Buena	
12. Respuesta a golpes de condensado	Inmediata	Inmediata	Demorada	Demorada	Demorada	
13. Habilidad para pasar suciedad	Excelente	Buena	Pobre	Aceptable	Aceptable	
14. Tamaño físico comparativo	Grande	Grande	Pequeña	Mediana	Mediana	
15. Falla normal de la trampa	Abierta	Cerrada	Abierta (2)	Cerrada (3)	Abierta	

Fuente: GUZMÁN, Roberto. *Beneficios en sistema de vapor por medio de una correcta instalación de trampas*, 2007. p. 21.

Tabla XLII. **Parámetros de diseño para trampas de balde invertido**

	Hierro Fundido	Hacer Inoxidable Estirado	Acero Forjado	Acero Fundido	Acero Inoxidable Fundido
Conexiones (Pulg)	1/2" a 2 1/2"	3/8" a 1"	1/2" a 2"	1/2" a 1"	1/2" a 2"
(mm)	15 - 65	10 - 65	15 - 50	15 - 25	15 - 50
Tipo conexiones	Roscada	Roscada, soldada a tope, o a presión.	Roscada, soldada a tope, o a bridada.	Roscada, soldada a tope, o a bridada.	Roscada, soldada a tope, o a bridada.
Presion de operación (bar)	0 a 17	0 a 45	0 a 186	0 a 41	0 a 47
Capacidad (Kg/h)	Hasta 9,091	Hasta 2,000	Hasta 8,636	Hasta 2,000	Hasta 8,636

Fuente: GUZMÁN, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 78.

Haciendo un análisis de cada una de las trampas en la tabla XLII se puede observar que todas cuentan con características que las hacen ser unas mejores que otras, por lo que para este tipo de industria es recomendable utilizar la trampa de cubeta invertida o balde invertido porque puede lidiar con suciedad, condensado, resiste el impacto hidráulico y tiene excelente resistencia al golpe de ariete. También, en caso de que la cubeta invertida pudiera llegar a fallar, lo hace en la posición abierta.

### **3.7.8. Juntas de expansión térmica**

Es muy importante seleccionar el tipo de junta, debido a que la dilatación en tuberías siempre está presente y muchas veces se deja que las tuberías de vapor y retorno se acomoden cuando se llega a la presión y temperatura de trabajo, lo que viene a limitarlo debido a las condiciones de construcción por lo

que se ancla en algunos puntos; entonces, la diferencia entre compresión y dilatación se pueden controlar.

En los lugares donde existe espacio para que pueda acomodarse, se utilizan juntas de expansión; estas son seleccionadas en función de presión y temperatura de trabajo, del espacio con que se cuenta, así como de la diferencia entre su longitud inicial y final a la presión y temperatura de trabajo.

$$LF = LO[1.0+a(TT-TA) + b(TT-TA)^2] \text{ Ecuación (12)}$$

Donde:

- LF: longitud final a temperatura de trabajo
- LO: longitud inicial a temperatura ambiente
- TT: temperatura ambiente
- TA: temperatura ambiente
- a y b: coeficientes para el material del tubo (adimensionales)
- LF-LO: capacidad de dilatación de la junta a utilizar

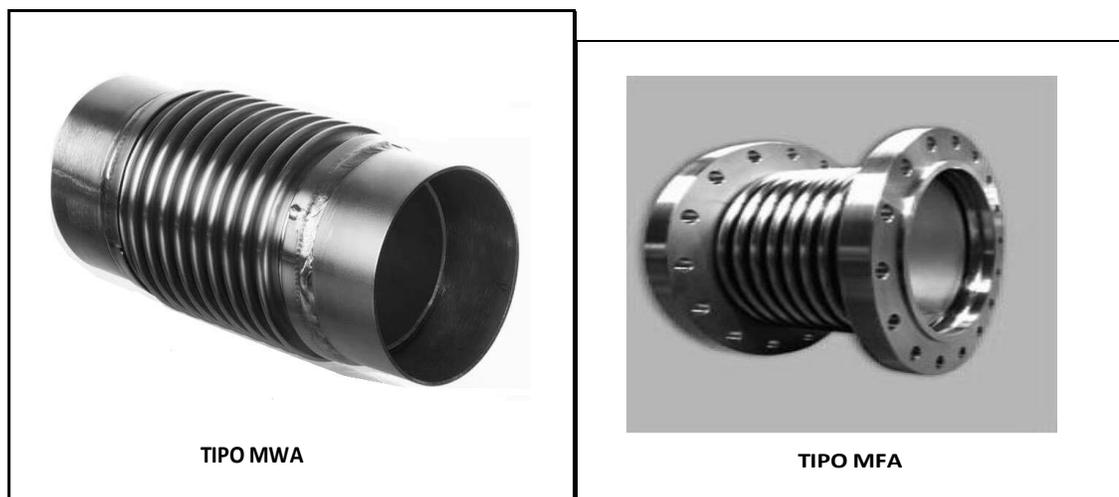
Tabla XLIII. **Coeficientes de Holborn & Day**

Material del tubo	Coeficiente (a)	Coeficiente (b)
Hierro fundido	$9.8 * 10^{-7}$	$6 * 10^{-9}$
Acero	$1.2 * 10^{-5}$	$5 * 10^{-9}$
Hierro forjado	$1.17 * 10^{-7}$	$5 * 10^{-9}$

Fuente: GUZMÁN, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 80.

El tipo de junta ideal para este tipo de industria es la de tipo axial, debido a que está compuesta de fuelles especiales y carreras (distancias que puede absorber). Esta junta cuenta con el modelo MWA que son utilizadas con terminales de acero al carbono biselados para soldar. Además, las de tipo MFA son utilizadas para bridas fijas o conexiones por flange. La junta para conexión por flange para este sistema es mejor opción, debido a la facilidad de instalación y a la diversidad de diámetros y presiones de diseño.

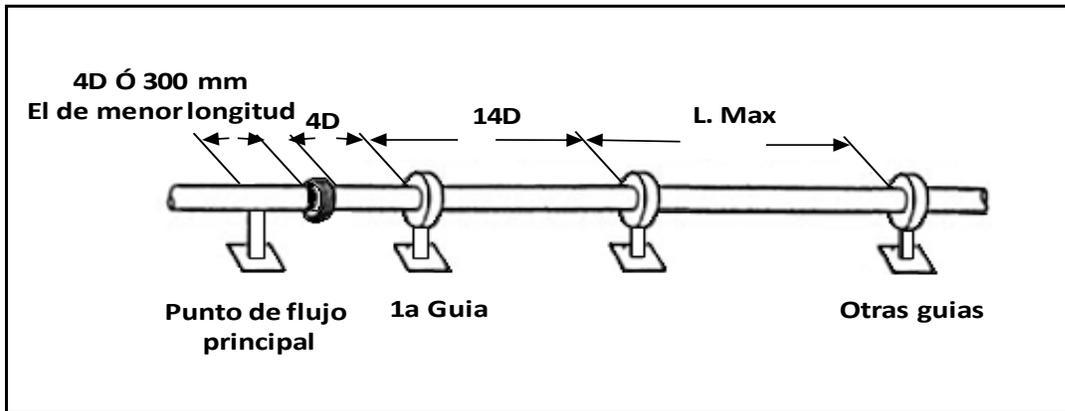
Figura 43. **Juntas tipo axial**



Fuente: Termodinámica. *Control de fluidos*. [www.termodinamica.cl](http://www.termodinamica.cl). Consulta: 15 de junio de 2018.

Al momento de ser instaladas es necesario soportes y guías, debido a la distancia entre la junta y el soporte o guía más cercano debe de estar a un máximo de 4 veces el diámetro nominal del tubo, o 300 mm la que sea menor; el siguiente no debe exceder de 14 veces el diámetro nominal del tubo como se muestra en la figura 40 y los otros de acuerdo con las normas relativas a los diámetros de los tubos y presiones de trabajo.

Figura 44. Distancias recomendadas de guías para juntas de expansión



Fuente: Termodinámica. *Control de fluidos*. [www.termodinamica.cl](http://www.termodinamica.cl). Consulta: 15 de junio de 2018.

### 3.7.9. Aislamiento térmico para tuberías

El aislante térmico es muy importante en las tuberías de vapor porque con ello se obtiene ahorro energético y se minimizan los costos por pérdidas de calor. Para determinar el tipo de aislante que se desea obtener es importante tomar en cuenta lo siguiente:

- El material tendrá que ser capaz de soportar la temperatura máxima de operación del flujo que pasa a través del sistema de distribución.
- El aislante tendrá que poseer una alta resistencia a la transferencia de calor.
- El material aislante debe de tener la característica de ser impermeable y de fácil adquisición.

Un tipo de aislante muy recomendado, ideal para tuberías de vapor es; la aplicación de aislamientos perforados en medias cañas y puede ser en una o varias capas dependiendo del espesor. La mayoría de las veces es utilizada una sola capa, pero si se quiere el montaje de un aislamiento en espesores para tuberías con alta temperatura; lo ideal es utilizar varias capas y durante la instalación se debe de evitar que coincidan las uniones, además se debe dejar en la pared de la tubería el mayor espesor posible de cañuela.

Para la tubería de vapor es muy recomendable que se pueda utilizar un aislamiento que recubra de manera adecuada todos los ramales de distribución y que no deje escapar el calor. Lo ideal sería utilizar para la empresa el aislamiento para tuberías de tipo cañuela de amplio rango, debido a que este cuenta con un compuesto de fibra de vidrio que hace que sea rígido y fabricado en forma de media caña con un laminado de *foil* de aluminio de FRK, además, de poseer las siguientes características:

Tabla XLIV. **Especificaciones técnicas del aislante para tubería tipo cañuela**

<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
Conductividad térmica	0,035 w/° c.m <sup>2</sup>
Valor atípico	0,24 BTU.in/h.° f.ft <sup>2</sup>
ASTM	C518 y C411
Temperaturas máximas de aplicación	454° C (850° F)
Características de quemado superficial, sin recubrimiento	FS/SD = 25/50
foil expuesto	FS/SD = 5/0

Fuente: Entalpia. *Suministros*. <http://entalpia.com>. Consulta: 17 de julio de 2018.

Figura 45. **Aislamiento para tuberías de tipo cañuela**



Fuente: Entalpia. *Suministros*. <http://entalpia.com>. Consulta: 17 de julio de 2018.

Figura 46. **Aislamiento de las turbinas de la empresa**



Continuación de la figura 45.



Fuente: elaboración propia.

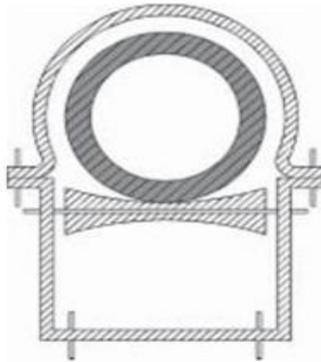
### **3.7.10. Soportes**

Seleccionar el soporte ideal para tuberías es muy importante porque son estos lo que soportan o sostienen entre los puntos que conectan. En un par de años la empresa calcula crecer un 25 % de su capacidad por lo que la demanda de vapor se incrementaría.

La tubería va a tener dilatación a causa de llevar vapor a temperaturas mayores que las del ambiente por lo que es necesario tomar en cuenta la flexibilidad de la tubería; al colocar la tubería en una posición requerida para el flujo esta debe ser capaz de permitir la dilatación de la tubería con cambios mínimos en el diseño; por lo que es recomendable utilizar para la empresa el soporte tipo rodillo con abrazadera, debido a que son un apoyo de tipo

deslizante ideal para tuberías; además, permite el movimiento en dos direcciones.

Figura 47. **Soporte tipo rodillo con abrazadera**



Fuente: GUZMÁN, Roberto. *Instalaciones mecánicas generación y distribución de vapor escuela de ingeniería mecánica facultad de ingeniería Usac.* p. 81.

A continuación, en la siguiente tabla se muestran el presupuesto del material para tuberías de vapor.

Tabla XLV. Presupuesto de materiales para tubería de vapor

Cantidad	Material/Accesorio	Diametro (pulg)	Características	Precio Unitario (Q)	Total (Q)
232 pies	Tubo	5	Cedula 40, acero al carbon	147,49/ pie	34 217,68
5	Codos de 90°	5	Cedula 40, acero al carbon	490	2 450
2	Codos de 45°	5	Cedula 40, acero al carbon	490	980
9	Codos de 90°	2 1/2	Cedula 40, acero al carbon	208	1 872
1	Valvula globo	2 1/2	Cedula 40, acero al carbon	663,5	663,5
18	Codos de 90°	1 1/2	Cedula 40, acero al carbon	57,5	1 035
3	Trampa de vapor	0.787	Mecanica - Cubeta invertida: Hierro fundido, presión de operación de 0 a 17 bar.	2 150,35	6 451,05
312 pies	Aislante para tubería	5	Tipo cañuela, espesor mínimo 55 mm, conductividad Térmica 0.035 035 w/°c.m^2, ASTM C518 y C411, Temperaturas máximas 454°C (850°F), FS/SD = 25/50	169,42/ pie	52 859,04
				<b>Total</b>	<b>Q 100 528,27</b>

Fuente: elaboración propia.

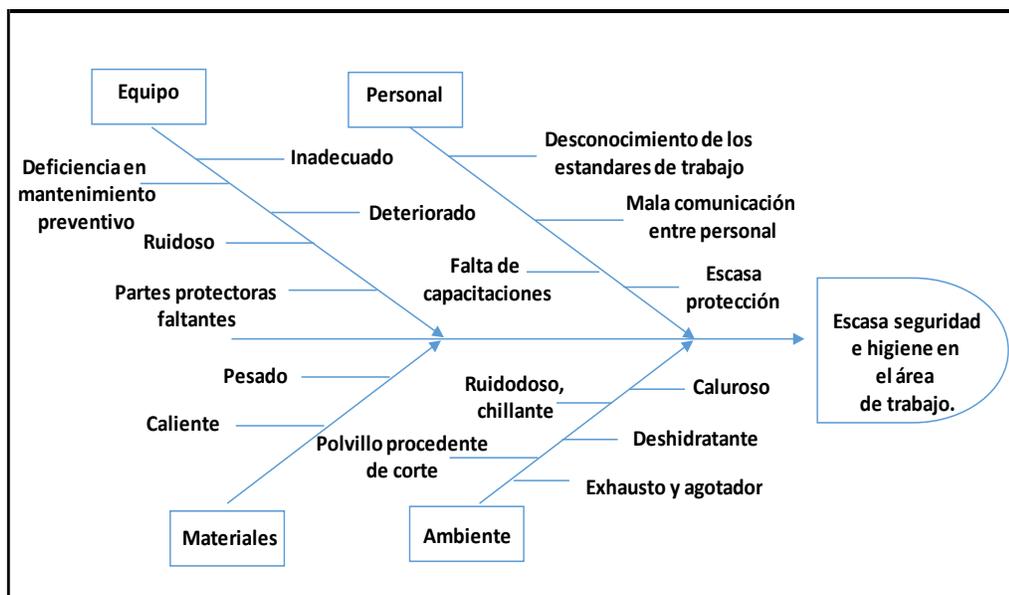


#### 4. FASE DE DOCENCIA. CAPACITACIÓN DEL PERSONAL OPERATIVO EN ÁREA DE CORRUGACIÓN

La capacitación constituye factor importante para que los colaboradores brinden el mejor aporte en el puesto asignado, ya que es un proceso constante que busca la eficiencia en el desarrollo de sus actividades; así mismo, contribuye a elevar el rendimiento, la moral y el ingenio creativo de los colaboradores.

A continuación, se muestra un diagrama para comprender mejor sobre qué puntos se basará la capacitación.

Figura 48. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

#### **4.1. Plan de capacitación**

En las áreas de corrugación y conversión existe poca información en temas de seguridad e higiene, así como escasa seguridad, por lo que es importante impartir pláticas y exposiciones a técnicos de mantenimiento y operarios, sobre temas de interés para que los operarios recuerden y presten atención a factores que afecten el desempeño de los equipos y de sus labores.

El plan de capacitación se basará en realizar dos exposiciones: una para el área de corrugación y otra para el área de conversión. En cada exposición se abordará la importancia de la seguridad e higiene en el lugar de trabajo, los 5s, los riesgos de incendio dentro de la planta, las rutas de evacuación, la simbología dentro de la planta; además, a los operarios de las dos áreas se les entregará un díptico con información importante sobre riesgos y uso adecuado de los extintores.

También, como parte del plan de capacitación, se realizarán croquis de los extintores, rutas de evacuación, un díptico con información importante sobre riesgos y orden y limpieza; por último, se realizará una evaluación para determinar si las exposiciones fueron captadas por los operarios.

A continuación, se muestra una tabla de actividades de la capacitación:

Tabla XLVI. **Actividades de capacitación**

<b>Actividades de capacitación</b>	
<b>Fase</b>	<b>Actividad</b>
1	Diseño de un croquis de extintores.
2	Diseño de croquis de rutas de evacuación.
3	Diseño de díptico de capacitación.
4	Capacitación en áreas de conversión y corrugación.
5	Evaluación sobre la capacitación.

Fuente: elaboración propia.

La capacitación tiene los siguientes objetivos.

- **Objetivo general**
  - Capacitar e informar a todo personal de las áreas de corrugación y conversión.
  
- **Objetivos específicos**
  - Proporcionar orientación e información relativa a los operarios de la empresa sobre seguridad industrial.
  - Actualizar y ampliar los conocimientos en relación con buenas prácticas en el área de trabajo.

- Contribuir a reforzar temas de seguridad e higiene industrial.
- Realizar croquis de extintores y rutas de evacuación.
- Evaluar a los operarios.
- Alcance

El presente plan de capacitación es aplicable para todo el personal del área de corrugación y conversión de la empresa.

- Fin del plan de capacitación

Ya que es una empresa en constante cambio, con el objetivo de realizar siempre un producto de buena calidad, la capacitación se lleva a cabo para contribuir a:

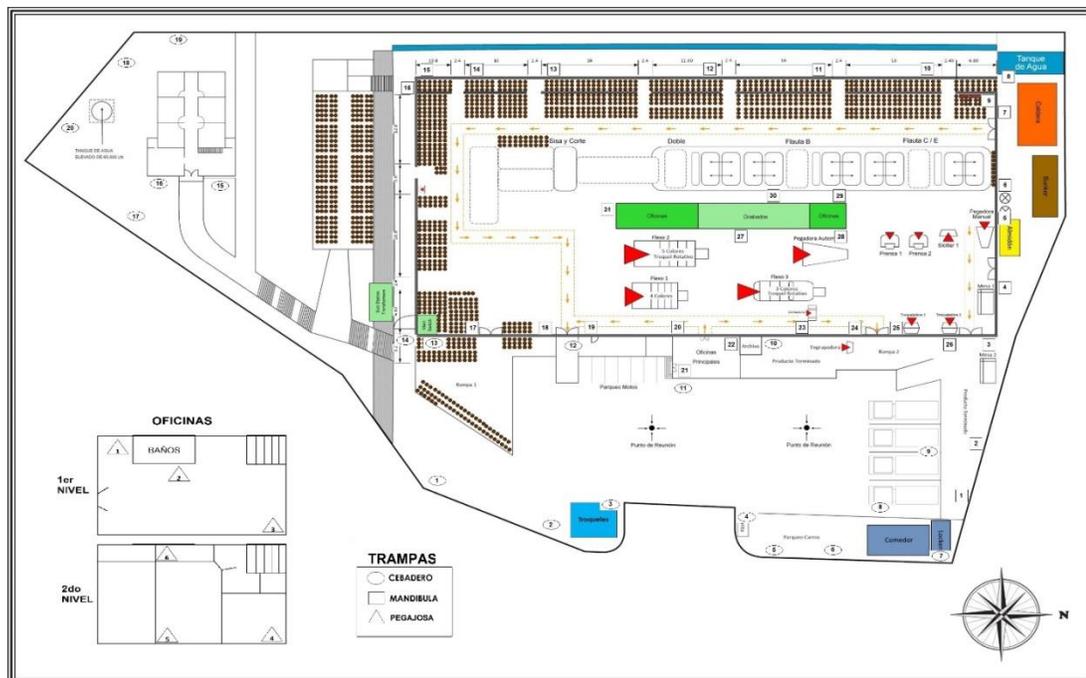
- Elevar el nivel de rendimiento de los colaboradores y, con ello, al incremento de la productividad y el rendimiento de la empresa.
  - Mejorar la interacción entre los colaboradores y, con ello, elevar el interés por el aseguramiento de la calidad en el servicio.
  - Satisfacer más fácilmente requerimientos futuros de la empresa en materia de seguridad e higiene industrial.
  - Generar conductas positivas y mejoras en el clima de trabajo, la productividad y la calidad y, con ello, mejorar las relaciones de trabajo.

- Mantener la salud física y mental en tanto ayuda a prevenir accidentes de trabajo; un ambiente seguro lleva a actitudes y comportamientos más estables.

## 4.2. Croquis de planta

La planta de producción cuenta con áreas de trabajo muy amplias para evitar que cajas estibadas puedan caer o golpear a algún operario; también, se cuenta con cebaderos y trampas mecánicas para evitar la propagación de plagas que puedan afectar la materia prima, los suministros, el producto terminado y la salud de los operarios.

Figura 49. Croquis de planta de producción



Fuente: elaboración propia.

### **4.3. Ubicación de extintores**

Los extintores se encuentran ubicados en casi todo el perímetro de la planta, instalados en puntos y áreas donde hay más concentración de materia prima y producto terminado.

Dentro de la planta los extintores cumplen una función vital dentro de un plan de protección, debido a que son elementos muy importantes y los primeros en ser utilizados a la hora de apagar un incendio.

Por tal motivo, es recomendable cumplir con las siguientes recomendaciones:

- Cumplir con las revisiones periódicas reglamentarias que garanticen la eficiencia de cada extintor.
- Instalar los extintores en lugares visibles y accesibles, próximos a puntos con riesgos de incendios y a salidas de evacuación.
- Disponer del número total de extintores indicado en el croquis de la planta de producción.

Actualmente, se cuenta con un número aceptable de extintores ubicados en puntos y rutas estratégicas de la planta.

Existen 4 extintores portátiles de tipo ABC de 20 Lb, 14 extintores también portátiles ABC de 10 Lb y uno del tipo CO<sub>2</sub> de 5 Lb. Todos están identificados con fecha y código de calibración que valida las condiciones del extintor para su uso.

A continuación, se muestra una clasificación de extintores respecto a las clases de fuego que se pueden producir dentro de planta de producción considerando el tipo de construcción y los materiales que se tienen, entre otros.

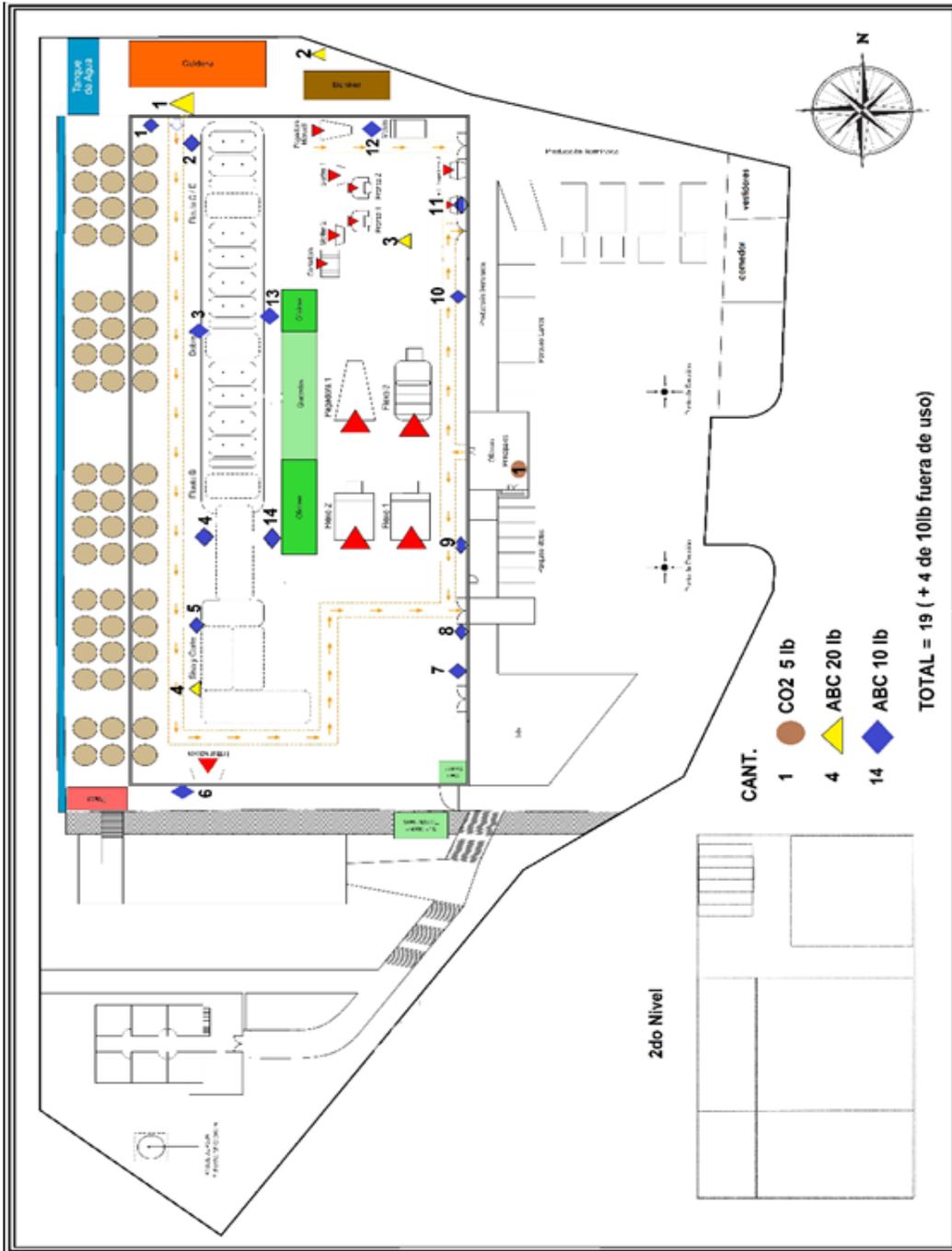
Tabla XLVII. **Clasificación de los tipos de extintores**

TIPOS DE EXTINTORES		
Tipo A	Madera, papel, carton, telas de algodón, etc	
Tipo B	Gasolina, pinturas, solventes, etc	
Tipo C	Todo tipo de electronico conectado	
Tipo D	Metale, solidos, etc.	

Fuente: Wordpress. *Importancia de los extintores*. <https://pandoracorpperu.wordpress.com>.

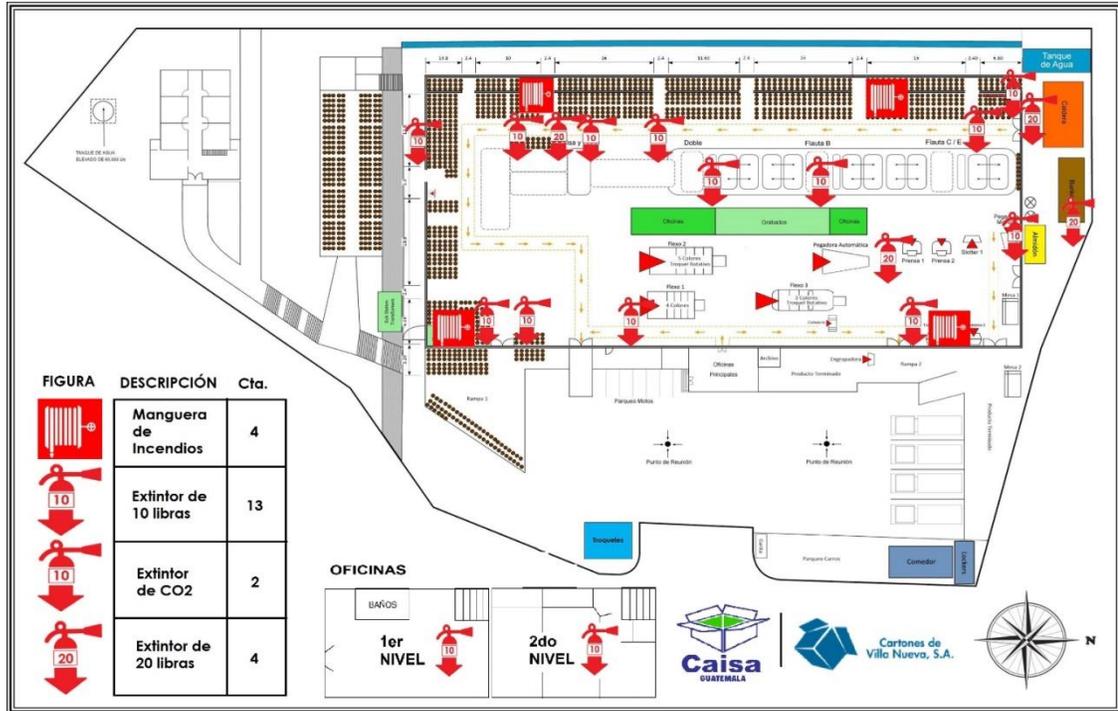
Consulta: 7 de agosto de 2018.

Figura 50. Ubicación de los extinguidores de acuerdo a las libras



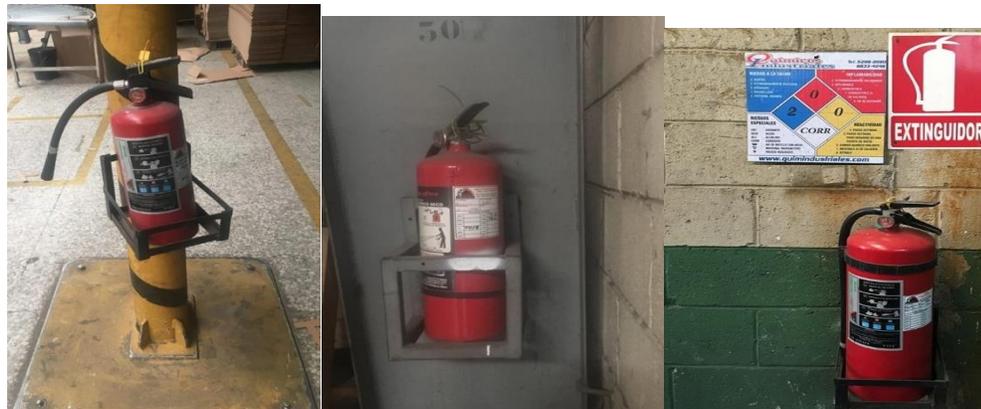
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Ubicación de los extinguidores en planta



Fuente: elaboración propia.

Figura 52. Extintores dentro de la planta



Fuente: elaboración propia.



#### 4.4. Salidas de emergencia

Dentro de la planta de producción se cuenta con puntos estratégicos para evacuar a los operarios en caso de una emergencia de magnitudes muy grandes. Las salidas de emergencias se ubican en los puntos exactos donde indican las flechas de color verde. Existe en realidad 4 salidas; pero dos son únicamente las salidas lo suficientemente grandes para evacuar a los operarios a la hora de una emergencia, las cuales están libres de todo obstáculo y señalizadas correctamente.

Figura 54. Salidas de emergencia de la planta de producción



Fuente: elaboración propia.

Figura 55. Punto de reunión en el área de parqueo de la empresa



Fuente: elaboración propia.

Figura 56. Rótulos de las salidas principales dentro de la planta



Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. Capacitación de operarios

La información se transmitió por medio de exposiciones y un díptico para las áreas de corrugación y conversión.

En ambas áreas se expuso:

- La importancia de tener el lugar de trabajo limpio y ordenado
- Tener el equipo y herramienta ordenada
- Evitar brotes de suciedad
- Mantener el respeto y disciplina
- Mantener los pasillos y puertas de salida libres
- El uso correcto de extintores
- Símbolos de seguridad y peligro
- El uso obligatorio de equipo de seguridad

Figura 57. **Capacitación a operarios en área de corrugación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 58. **Capacitación a operarios en área de conversión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Díptico (exterior) entregado a los operarios en planta de producción**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guarde los desperdicios, trapos engrasados y otros materiales inflamables en recipientes metálicos y con tapa destinados a este fin.</li> <li>• Los recipientes para la basura no deben ser llenados en exceso. Deben estar tapados e identificados.</li> <li>• Mantenga las salidas despejadas en todo momento.</li> <li>• Mantenga las escaleras y descansos de <u>las mismas</u> libres de materiales o sucias.</li> <li>• No acumule materiales sobre los extintores, ni los obstruya.</li> <li>• No deberá permitirse la acumulación de los desperdicios de las máquinas sobre el piso. Deben ser limpiados regularmente.</li> <li>• Cuando haya aceite derramado sobre el piso debe ser limpiado inmediatamente para evitar resbalones. Utilice aserrín o bagazo para absorber el derrame hasta que el mismo pueda ser limpiado.</li> </ul> <p><b>Técnica 5<sup>s</sup></b></p> <p>Se llama estrategia de las 5S porque representan acciones que son principios expresados con cinco palabras japonesas que comienza por la letra S. Cada palabra tiene un significado importante para la creación de un lugar digno y seguro donde trabajar.</p> <p>Estas cinco palabras son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Clasificar (<u>seiri</u>).</li> <li>➢ orden (<u>seiton</u>).</li> <li>➢ limpieza (<u>seiso</u>).</li> <li>➢ limpieza estandarizada (<u>seiketsu</u>) y</li> <li>➢ disciplina (<u>shitsuke</u>).</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>RIESGOS DE INCENDIO DENTRO DE LA PLANTA</b></p> <p>El objetivo de la prevención de incendios es evitar mediante el diseño de las actividades y la disminución del riesgo que se produzca un incendio.</p> <p><b>Recomendaciones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Al ingresar a la planta debe familiarizarse con los elementos de extinción que hay distribuidos en el mismo.</li> <li>• Al detectar un principio de incendio si es posible debe extinguirlo, caso contrario dará la alarma o aviso inmediatamente a las personas que se encuentren en el lugar.</li> <li>• Es obligación de cada colaborador prestar la mayor colaboración en caso de incendio o siniestro, para así preservar los bienes de la empresa, siempre que no ponga en peligro su integridad física.</li> <li>• No se almacenará trapos de limpieza u otros materiales inflamables o combustibles cerca de fuentes de ignición, ni se guardarán trapos sucios con aceites, pinturas, <b>entre otros, en cajas de herramientas</b></li> <li>• Al observar pérdidas de combustibles y/o gas o cualquier otro tipo de riesgo de incendio se debe dar la alarma inmediata y suprimir cualquier fuente calor.</li> </ul>
---	---

Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Díptico (interior) entregado a los operarios en planta de producción**

<p><b>Uso de extintores:</b></p> <p><b>Paso 1:</b> Retire el extintor del lugar donde se encuentra ubicado. </p> <p><b>Paso 2:</b> Acérquese al siniestro tanto como se lo permita el calor, asegurándose de no poner en riesgo su integridad física. Mantenga el extintor en posición vertical.</p> <p><b>Paso 3:</b> Quite el seguro que el extintor posee entre la palanca de soporte y accionamiento. Nunca combata el fuego en contra del viento. </p> <p><b>Paso 4:</b> Tome la manguera y apunte hacia la base de las llamas desde la distancia segura recomendada.</p> <p><b>Paso 5:</b> Apriete la palanca de accionamiento para descargar el agente extintor. </p> <p><b>Paso 6:</b> Descargue el agente extintor de un lado a otro en forma de abanico, hasta que el fuego este apagado. Muévase alrededor del área mientras el fuego disminuye. Observe el área en caso de que haya reignición.</p> <p><b>Paso 7:</b> Una vez utilizado el extintor entréguelo a los responsables de recargarlo, aunque no se haya vaciado completamente, ya que éste no sólo perderá la presión, sino que en otra emergencia la carga, al ser residual, podría no ser suficiente. </p>	<p><b>Patrón de identificación en planta de producción</b></p> <p>A continuación, se muestran las señales con carteles que se deben tener en planta de producción:</p>  <p><b>ORDEN Y LIMPIEZA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mantenga los pasillos y lugares de trabajo limpios; las herramientas, equipos, escaleras y materiales en buen estado, apilados y colocados en su lugar en forma segura de manera que el personal que transite no se lesiones.</li> </ul>
--	---

Fuente: elaboración propia.

#### 4.6. Evaluación de la capacitación

Evaluar al personal sobre las capacitaciones realizadas es importante porque con ellos se busca conocer si el mensaje transmitido fue captado por cada operario.

A continuación, se muestra una hoja de preguntas utilizada para evaluar la atención de cada operador.

Figura 61. **Hoja de preguntas sobre capacitación**

CAISA, CARTÓN, S.A		 
Elaborado: Br. Jimmy Velásquez		Hoja de evaluación
Supervisó: Lic. Johnny Gudiel		Fecha: agosto de 2018
Departamento: área de corrugación/conversión		Hoja: 1/1
<p>Instrucciones: se le presentan tres preguntas que deberá encerrar en un círculo si considera que el enunciado es verdadero (V) o falso (F).</p>		
1. ¿En caso de un incendio, es recomendable siempre salir corriendo sin importar lo que ocurra?		
V		F
2. ¿El uso adecuado del equipo industrial garantiza la protección y disminuye los riesgos?		
V		F
3. ¿Un incendio provocado por cortocircuito debe controlarse con agua?		
V		F

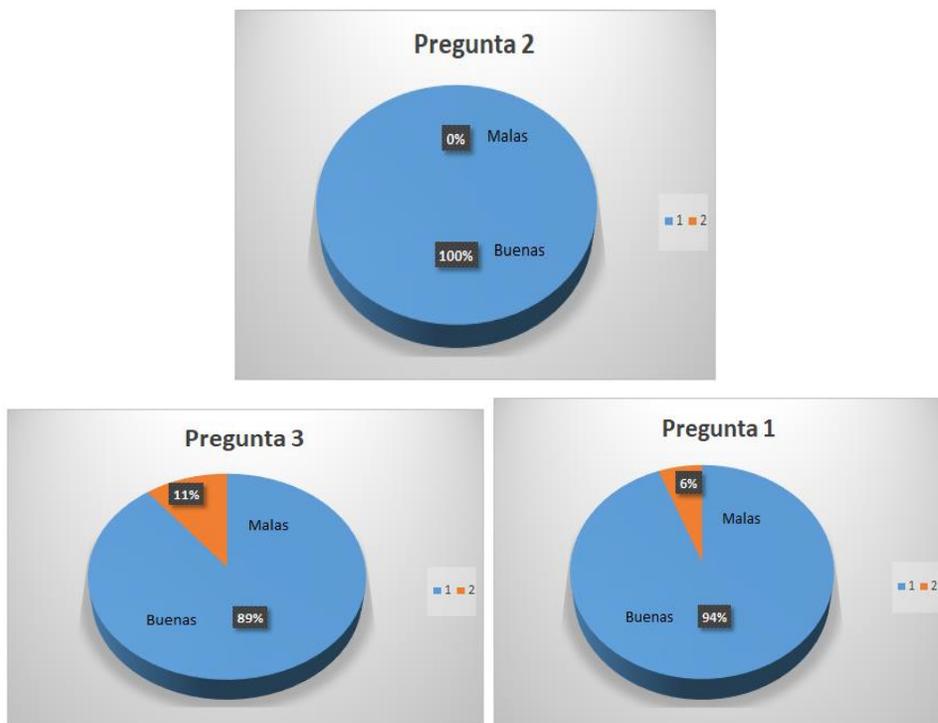
Fuente: elaboración propia.

#### 4.7. Resultados

La capacitación ha servido para contribuir con la empresa y reforzar temas relacionados con seguridad e higiene en las áreas de trabajo; aporta y expone conocimientos a todo el personal de la planta de producción.

A continuación, se muestra una serie de gráficas que muestran los resultados de la captación de las charlas hechas a los operarios.

Figura 62. Gráficos de resultados de la capacitación



Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar, los resultados de la evaluación demuestran que las capacitaciones fueron captadas en su mayoría por el personal operativo por lo que se han alcanzado los objetivos de la capacitación.

A continuación, se incluye un presupuesto aproximado de lo que costaría cada exposición. Únicamente se gastó en impresiones, la energía y el equipo corrió por cuenta de la empresa.

Tabla XLVIII. **Presupuesto**

Tema	Área	Participantes	Costo (Q)	Total
5's	Corrugación	15	75	1 125
Seguridad Industrial	Corrugación	15	50	750
Uso de extintores	Corrugación	15	40	600
5's	Conversión	65	75	4 875
Seguridad Industrial	Conversión	65	50	3 250
Uso de extintores	Conversión	65	40	2 600
Material impreso			40	40
			Total	Q13 240,00

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. Se realizó una evaluación en cada sección de la máquina corrugadora por lo cual se determinó que uno de los parámetros a corregir era la reparación de los comandos electrónicos para evitar ensamblar el papel de forma manual debido a que el operador se demoraba en hacerlo. Otro punto importante fue el tiempo que se perdía cortando y ajustando el papel a causa del mal corrugado que ocasionaba por los cilindros hidráulicos que no ejercía una presión pareja y que ocasionaba retrasos en producción. Por lo que el parámetro más importante fue mejorar el tiempo por demoras una manera considerable; esto se logró al remplazo de los cilindros hidráulicos he hizo más eficiente la producción.
2. Se determinaron los tiempos muertos en las tres secciones: sección C con 27,78; sección B con 47,13 y sesión doble con 50,39 minutos. Así mismo, se determinó el tiempo de ocio para el operador: sección C con 27,85, sección B con 28,0 y sección doble con 22,0 minutos. Los tiempos de ocio para el ayudante de operador son los siguientes: sección C con 38,59, sección B con 27,0 y sección doble con 36,59 minutos. También, se determinaron los cuellos de botella: sección C con 8,09, sección B con 6,8 y sección doble con 8,24 minutos. Con el estudio de tiempos se determinó que en cada sección de la máquina se pierden en promedio 7,71 minutos en ajustar los cilindros y volver a colocar el papel.
3. Los tiempos se estandarizaron en cada sección de la máquina corrugadora, se realizaron los diagramas hombre-máquina para lograr mejorar cada estación de trabajo al asignarle más tareas al operario y

eliminar un operador de cada estación. Además, los tiempos por paro no programado y de botella se redujeron de 7,71 a 0 minutos a cero debido a que fueron reparados los empalmadores electrónicos y los cilindros hidráulicos.

4. Se logró incrementar la eficiencia en las tres secciones de la máquina corrugadora de 80,77 % a un 97,75 %. Este aumento se logró gracias a que la producción se incrementó de 111 475 a 134 899,8 metros cuadrados por día.
5. Se propuso un diseño del sistema de distribución de vapor para la máquina corrugadora, donde se logró determinar un parámetro muy importante: el diámetro actual de la tubería con 6", lo que equivale a estar sobredimensionada, por lo que en el diseño se colocó el diámetro ideal de 5". Así mismo, se determinó que la presión de trabajo de la caldera es de 150 psi, la cual genera 7 500 libras de vapor/hora con un rendimiento del 84,8 %. Se hizo el cálculo también de los BHP nominales equivalentes a 239.
6. Se hizo una evaluación general de la red de distribución de vapor en donde se detectaron muchas deficiencias. En la realización del rediseño se lograron corregir muchas fallas como el material aislante ideal para la tubería, el tipo de cargador correcto, la presión en el punto de utilización y el diámetro de la tubería.
7. Se capacitó a todo el personal operativo de corrugación y conversión sobre temas relacionados a seguridad e higiene, 5S y uso de extintores; también, se capacitó sobre símbolos de riesgo dentro de la planta; se realizaron croquis con las rutas de evacuación de la planta y puntos

estratégicos donde están los extinguidores. Al finalizar la exposición, se realizó una evaluación de comprobación: el 94,33 % de los operarios respondieron de manera correcta y, por tanto, las capacitaciones realizadas cumplieron su objetivo.



## RECOMENDACIONES

1. Una vez por semana es importante limpiar los rodillos y los depósitos de almidón, corregir fugas de agua en área de mezclado (cocina de almidón).
2. Que los operarios utilicen siempre el equipo de protección industrial, que este siempre despejada el área por donde transita el montacarga, también limpiar los residuos de aceite hidráulico que hay en la sección C.
3. Cuando se realice el corrugado doble es importante mantener un ayudante de operario para que asista y apoye cuando haya que ensamblar las otras boninas de papel.
4. Es importante mantener en buenas condiciones los equipos, es por eso que se recomienda darle el mantenimiento debido a los empalmadores así como al sistema hidráulico de la corrugadora para que no ocurran paros no programados.
5. La caldera se está incrustando por lo que es recomendable que al agua de alimentación se le den todos los tratamientos químicos y no solo el que actualmente se le da. También, se deben arreglar los manómetros que hay la caldera y en el área de corrugación, el quemador y los niveles de agua de la caldera, y mantener siempre limpia el área trasera de la corrugadora por donde pasa toda la tubería.

6. A la alta gerencia lo siguiente: comprar el aislamiento para la tubería que esta sin protección, así como de los soportes ideales para la tubería; incrementar mayor iluminación en los pasillos y recalcar el uso obligatorio de tapones auditivos en los operarios; realizar de manera periódica el mantenimiento preventivo y predictivo debido a que casi nunca se hace en la corrugadora.
  
7. Es importante que no deje de recordársele a los operarios del uso adecuado de protección; así mismo, sería bueno incrementar un par de dispensadores de agua más dentro de la planta y sería muy bueno colocar una ducha de baño para los operarios.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR DE LEON, José Eduardo. *Diseño de procesos para mejorar la productividad en corrugadora Guatemala, S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 159 p.
2. CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1996. 421 p.
3. FONSECA MALDONADO, Pedro José. *Diseño de red de distribución de vapor para una lavandería Industrial*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 226 p.
4. GARCIA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo, medición del trabajo*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1998. 312 p.
5. GUZMÁN, Roberto. *Curso de instalaciones mecánicas*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos Guatemala, 2014. 51 p.
6. NIVEL, Benjamín W. *Ingeniería industrial, métodos, tiempos y movimientos*. 9a ed. México: Alfaomega, 1996. 880 p.
7. RAMIREZ ROMERO Julio Roberto. *Cálculo del sistema de generación de vapor y agua caliente para rastro municipal Zaragoza,*

*Chimaltenango*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 206 p.

8. SOTO CRUZ, Juan José. *Fundamentos sobre ahorro de energía*. Mérida Yucatán: UADY, 1996. 614 p.
9. Spirax Sarco. *Curso de termodinámica*, Guatemala: Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos Guatemala, 2013. 64 p.

# ANEXOS

## Anexo 1. Temperaturas

Tabla A.12. (Continuación)

Temp., °C T	Pres., bar P	Volumen específico		Energía interna		Entalpía			Entropía	
		Líquido sat. $v_f \times 10^3$	Vapor sat. $v_g$	Líquido sat. $u_f$	Vapor sat. $u_g$	Líquido sat. $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Vapor sat. $h_g$	Líquido sat. $s_f$	Vapor sat. $s_g$
50	0,1235	1,0121	12,032	209,32	2,443,5	209,33	2,382,7	2,592,1	0,7038	8,0763
55	0,1576	1,0146	9,568	230,21	2,450,1	230,23	2,370,7	2,600,9	0,7679	7,9913
60	0,1994	1,0172	7,671	251,11	2,456,6	251,13	2,358,5	2,609,6	0,8312	7,9096
65	0,2503	1,0199	6,197	272,02	2,463,1	272,06	2,346,2	2,618,3	0,8935	7,8310
70	0,3119	1,0228	5,042	292,95	2,469,6	292,98	2,333,8	2,626,8	0,9549	7,7553
75	0,3858	1,0259	4,131	313,90	2,475,9	313,93	2,321,4	2,635,3	1,0155	7,6824
80	0,4739	1,0291	3,407	334,86	2,482,2	334,91	2,308,8	2,643,7	1,0753	7,6122
85	0,5783	1,0325	2,828	355,84	2,488,4	355,90	2,296,0	2,651,9	1,1343	7,5445
90	0,7014	1,0360	2,361	376,85	2,494,5	376,92	2,283,2	2,660,1	1,1925	7,4791
95	0,8455	1,0397	1,982	397,88	2,500,6	397,96	2,270,2	2,668,1	1,2500	7,4159
100	1,0133	1,0435	1,673	418,94	2,506,5	419,04	2,257,0	2,676,1	1,3069	7,3549
110	1,433	1,0516	1,210	461,14	2,518,1	461,30	2,230,2	2,691,5	1,4185	7,2387
120	1,985	1,0603	0,8919	503,50	2,529,3	503,71	2,202,6	2,706,3	1,5276	7,1296
130	2,701	1,0697	0,6685	546,02	2,539,9	546,31	2,174,2	2,720,5	1,6344	7,0269
140	3,613	1,0797	0,5089	588,74	2,550,0	589,13	2,144,7	2,733,9	1,7391	6,9299
150	4,758	1,0905	0,3928	631,68	2,559,5	632,20	2,114,3	2,746,5	1,8418	6,8379
160	6,178	1,1020	0,3071	674,86	2,568,4	675,55	2,082,6	2,758,1	1,9427	6,7502
170	7,917	1,1143	0,2428	718,33	2,576,5	719,21	2,049,5	2,768,7	2,0419	6,6663
180	10,02	1,1274	0,1941	762,09	2,583,7	763,22	2,015,0	2,778,2	2,1396	6,5857
190	12,54	1,1414	0,1565	806,19	2,590,0	807,62	1,978,8	2,786,4	2,2359	6,5079
200	15,54	1,1565	0,1274	850,65	2,595,3	852,45	1,940,7	2,793,2	2,3309	6,4323
210	19,06	1,1726	0,1044	895,53	2,599,5	897,76	1,900,7	2,798,5	2,4248	6,3585
220	23,18	1,1900	0,08619	940,87	2,602,4	943,62	1,858,5	2,802,1	2,5178	6,2861
230	27,95	1,2088	0,07158	986,74	2,603,9	990,12	1,813,8	2,804,0	2,6099	6,2146
240	33,44	1,2291	0,05976	1,033,2	2,604,0	1,037,3	1,766,5	2,803,8	2,7015	6,1437
250	39,73	1,2512	0,05013	1,080,4	2,602,4	1,085,4	1,716,2	2,801,5	2,7927	6,0730
260	46,88	1,2755	0,04221	1,128,4	2,599,0	1,134,4	1,662,5	2,796,6	2,8838	6,0019
270	54,99	1,3023	0,03564	1,177,4	2,593,7	1,184,5	1,605,2	2,789,7	2,9751	5,9301
280	64,12	1,3321	0,03017	1,227,5	2,586,1	1,236,0	1,543,6	2,779,6	3,0668	5,8571
290	74,36	1,3656	0,02557	1,278,9	2,576,0	1,289,1	1,477,1	2,766,2	3,1594	5,7821
300	85,81	1,4036	0,02167	1,332,0	2,563,0	1,344,0	1,404,9	2,749,0	3,2534	5,7045
320	112,7	1,4988	0,01549	1,444,6	2,525,5	1,461,5	1,238,6	2,700,1	3,4480	5,5362
340	145,9	1,6379	0,01080	1,570,3	2,464,6	1,594,2	1,027,9	2,622,0	3,6594	5,3357
360	186,5	1,8925	0,006945	1,725,2	2,351,5	1,760,5	720,5	2,481,0	3,9147	5,0526
374,14	220,9	3,155	0,003155	2,029,6	2,029,6	2,099,3	0	2,099,3	4,4298	4,4298

FUENTE: J. H. Keenan, F. G. Keyes, P. G. Hill y J. G. Moore, «Steam Tables», Wiley, New York, 1969.

Fuente: K. Wark. *Thermodynamics*. p. 946.

Anexo 2. Presiones

Tabla A.13. (Continuación)

Pres., bar $P$	Temp., °C $T$	Volumen específico		Energía interna		Entalpía			Entropía	
		Líquido sat. $v_f \times 10^3$	Vapor sat. $v_g$	Líquido sat. $u_f$	Vapor sat. $u_g$	Líquido sat. $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Vapor sat. $h_g$	Líquido sat. $s_f$	Vapor sat. $s_g$
10.0	179.9	1.1273	0.1944	761.68	2.583.6	762.81	2.015.3	2.778.1	2.1387	6.5863
15.0	198.3	1.1539	0.1318	843.16	2.594.5	844.84	1.947.3	2.792.2	2.3150	6.4448
20.0	212.4	1.1767	0.09963	906.44	2.600.3	908.79	1.890.7	2.799.5	2.4474	6.3409
25.0	224.0	1.1973	0.07998	959.11	2.603.1	962.11	1.841.0	2.803.1	2.5547	6.2575
30.0	233.9	1.2165	0.06668	1.004.8	2.604.1	1.008.4	1.795.7	2.804.2	2.6457	6.1869
35.0	242.6	1.2347	0.05707	1.045.4	2.603.7	1.049.8	1.753.7	2.803.4	2.7253	6.1253
40.0	250.4	1.2522	0.04978	1.082.3	2.602.3	1.087.3	1.714.1	2.801.4	2.7964	6.0701
45.0	257.5	1.2692	0.04406	1.116.2	2.600.1	1.121.9	1.676.4	2.798.3	2.8610	6.0199
50.0	264.0	1.2859	0.03944	1.147.8	2.597.1	1.154.2	1.640.1	2.794.3	2.9202	5.9734
60.0	275.6	1.3187	0.03244	1.205.4	2.589.7	1.213.4	1.571.0	2.784.3	3.0267	5.8892
70.0	285.9	1.3513	0.02737	1.257.6	2.580.5	1.267.0	1.505.1	2.772.1	3.1211	5.8133
80.0	295.1	1.3842	0.02352	1.305.6	2.569.8	1.316.6	1.441.3	2.758.0	3.2068	5.7432
90.0	303.4	1.4178	0.02048	1.350.5	2.557.8	1.363.3	1.378.9	2.742.1	3.2858	5.6772
100.0	311.1	1.4524	0.01803	1.393.0	2.544.4	1.407.6	1.317.1	2.724.7	3.3596	5.6141
110.0	318.2	1.4886	0.01599	1.433.7	2.529.8	1.450.1	1.255.5	2.705.6	3.4295	5.5527
120.0	324.8	1.5267	0.01426	1.473.0	2.513.7	1.491.3	1.193.6	2.684.9	3.4962	5.4924
130.0	330.9	1.5671	0.01278	1.511.1	2.496.1	1.531.5	1.130.7	2.662.2	3.5606	5.4323
140.0	336.8	1.6107	0.01149	1.548.6	2.476.8	1.571.1	1.066.5	2.637.6	3.6232	5.3717
150.0	342.2	1.6581	0.01034	1.585.6	2.455.5	1.610.5	1.000.0	2.610.5	3.6848	5.3098
160.0	347.4	1.7107	0.009306	1.622.7	2.431.7	1.650.1	930.6	2.580.6	3.7461	5.2455
170.0	352.4	1.7702	0.008364	1.660.2	2.405.0	1.690.3	856.9	2.547.2	3.8079	5.1777
180.0	357.1	1.8397	0.007489	1.698.9	2.374.3	1.732.0	777.1	2.509.1	3.8715	5.1044
190.0	361.5	1.9243	0.006657	1.739.9	2.338.1	1.776.5	688.0	2.464.5	3.9388	5.0228
200.0	365.8	2.036	0.005834	1.785.6	2.293.0	1.826.3	583.4	2.409.7	4.0139	4.9269
220.9	374.1	3.155	0.003155	2.029.6	2.029.6	2.099.3	0	2.099.3	4.4298	4.4298

FUENTE: J. H. Keenan, F. G. Keyes, P. G. Hill y J. G. Moore, «Steam Tables», Wiley, New York, 1969.

Fuente: K. Wark. *Thermodynamics*. p. 948.