



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

**DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM), BASADO  
EN LA CONDICIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE CORRUGADO COMO  
MEJORA DEL SISTEMA PREDICTIVO ACTUAL, PARA PROVEER MEJORA EN LA  
CONFIABILIDAD DEL PRODUCTO**

**Ronald Miuller Yucuté Yucuté**

Asesorado por el Ing. José Manuel Prado Abularach

Guatemala, octubre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM),  
BASADO EN LA CONDICIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE CORRUGADO COMO  
MEJORA DEL SISTEMA PREDICTIVO ACTUAL, PARA PROVEER MEJORA EN LA  
CONFIABILIDAD DEL PRODUCTO  
TRABAJO DE GRADUACIÓN**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RONALD MIULLER YUCUTÉYUCUTÉ**  
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ MANUEL PRADO ABULARACH

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2022

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. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz Gonzáles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor García Tobar
EXAMINADORA	Inga. María Martha Wolford Estrada
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM), BASADO EN LA CONDICIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE CORRUGADO COMO MEJORA DEL SISTEMA PREDICTIVO ACTUAL, PARA PROVEER MEJORA EN LA CONFIABILIDAD DEL PRODUCTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 3 de marzo de 2016.



**Ronald Müller Yucuté Yucuté**

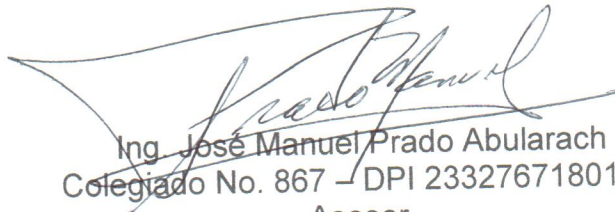
Guatemala, 4 de abril de 2022

Señor Director  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Estimado Ingeniero Urquizú:

Por medio de la presente le informo que he procedido a revisar el trabajo de graduación elaborado por el estudiante universitario **Ronald Miuller Yucuté Yucuté**, con Documento Personal de Identificación número: **1962 33224 0306** y número de carné **2011-13893** de la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial cuyo título es: **DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM), BASADO EN LA CONDICIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE CORRUGADO COMO MEJORA DEL SISTEMA PREDICTIVO ACTUAL, PARA PROVEER MEJORA EN LA CONFIABILIDAD DEL PRODUCTO**, haciendo constar que doy por **APROBADA** la tesis y que cumple con los requisitos establecidos para continuar con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, atentamente



Ing. José Manuel Prado Abularach  
Colegiado No. 867 – DPI 2332767180101

Asesor

c.c. Archivo





ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.029.022

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM), BASADO EN LA CONDICIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE CORRUGADO COMO MEJORA DEL SISTEMA PREDICTIVO ACTUAL PARA PROVEER MEJORA EN LA CONFIABILIDAD DEL PRODUCTO**, presentado por el estudiante universitario **Ronald Muller Yucuté Yucuté**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

2022.04.28

09:30:34

Brenda Izabel Miranda Consuegra  
Ingeniera Industrial  
Colegiado 13,675

Inga. Brenda Izabel Miranda Consuegra  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, abril de 2022.

/mgp



ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LNG.DIRECTOR.207.EMI.2022

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 Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM), BASADO EN LA CONDICIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE CORRUGADO COMO MEJORA DEL SISTEMA PREDICTIVO ACTUAL, PARA PROVEER MEJORA EN LA CONFIABILIDAD DEL PRODUCTO**, presentado por: **Ronald Miuller.Yucuté .Yucuté** , procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Firmada digitalmente por Cesar Ernesto Urquizu Rodas  
Motivo: Ingeniero Industrial  
Ubicación: Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería  
Mecánica Industrial, USAC  
Colegiado 4,272  
Periodo: septiembre a noviembre año 2022

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

Guatemala, octubre de 2022.

LNG.DECANATO.OI.683.2022

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: **DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM), BASADO EN LA CONDICIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE CORRUGADO COMO MEJORA DEL SISTEMA PREDICTIVO ACTUAL, PARA PROVEER MEJORA EN LA CONFIABILIDAD DEL PRODUCTO**, presentado por: **Ronald Miuller.Yucuté .Yucuté**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, octubre de 2022

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por darme la oportunidad de vivir esta experiencia en mi vida, por bendecir e iluminar mi carrera académica, por permitirme cumplir este sueño y los que vendrán. Y sobre todo compartir este logro con mis seres queridos.

### **Mis padres**

Juan Yucuté Bucú e Irma Herlinda Yucuté Chicop. Por todo su amor, esfuerzo y consejos que me siguen acompañando día con día.

### **Mis hermanos**

Roger Bernardo, Olga Marina y Karen Carolina Yucuté Yucuté, por el apoyo brindado durante mi carrera.

### **Amigos**

Por el tiempo compartido y momentos vividos durante el desarrollo de la carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de desarrollar mi carrera.

**Facultad de Ingeniería**

Por proveerme los recursos necesarios y desarrollarme intelectualmente dentro de cada una de sus aulas.

**A mi asesor**

Ingeniero José Manuel Prado Abularach, por su dirección, confianza e impulso en el desarrollo del presente trabajo.

**Empaques Sirio**

Agradezco a la empresa donde desarrolle mi presente trabajo de graduación, al gerente de planta, por confiar en mi persona y permitirme desarrollar las capacidades adquiridas durante mi carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN .....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Inicios de la empresa en Guatemala .....	1
1.2. Informe general.....	2
1.2.1. Ubicación .....	3
1.2.2. Misión.....	3
1.2.3. Visión .....	3
1.3. Estructura organizacional .....	4
1.3.1. Organigrama .....	4
1.3.2. Puestos y funciones.....	6
1.4. Mantenimiento.....	10
1.4.1. Mantenimiento preventivo.....	10
1.4.2. Mantenimiento correctivo.....	11
1.4.3. Mantenimiento predictivo.....	11
1.5. Costos por mantenimiento .....	12
1.6. Descripción de la planta.....	13
1.6.1. Distribución de planta .....	16
1.6.2. Descripción de las líneas de corrugado .....	17
1.6.3. Equipos que conforman la línea de corrugado.....	22

1.6.3.1.	Porta bobinas .....	23
1.6.3.2.	Precalentadores .....	24
1.6.3.3.	Flautas .....	25
1.6.3.4.	Empalmadoras .....	26
1.6.3.5.	Elevadores.....	27
1.6.3.6.	Engomadoras .....	28
1.6.3.7.	Mesa de secado .....	29
1.6.3.8.	Banda de tracción .....	30
1.6.3.9.	Cortadoras.....	30
1.6.3.10.	Stacker .....	31
1.6.3.11.	Cocina de adhesivo.....	32
1.6.3.12.	Carro de transferencia.....	33
1.6.3.13.	Motores.....	33
1.6.3.14.	Variadores de motores .....	34
1.6.3.15.	Cajas reductoras .....	35
1.6.3.16.	Tableros eléctricos .....	36
1.6.4.	Tipos de cartones que se fabrican .....	37
2.	DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	41
2.1.	Delimitación del área de estudio .....	41
2.2.	Metodología estadística.....	41
2.3.	Proceso de corrugado .....	43
2.3.1.	Estado actual de mantenimiento .....	48
2.3.1.1.	Mantenimiento mecánico .....	48
2.3.1.1.1.	Porta bobinas.....	49
2.3.1.1.2.	Precalentadores.....	49
2.3.1.1.3.	Flautas .....	50
2.3.1.1.4.	Empalmadoras.....	52
2.3.1.1.5.	Elevadores .....	53

	2.3.1.1.6.	Engomadoras.....	53
	2.3.1.1.7.	Mesa de secado.....	54
	2.3.1.1.8.	Banda de tracción .....	55
	2.3.1.1.9.	Cortadoras .....	55
	2.3.1.1.10.	Stacker.....	56
	2.3.1.1.11.	Cocina de adhesivo .....	57
	2.3.1.1.12.	Carro de transferencia ..	57
	2.3.1.1.13.	Cajas reductoras.....	57
	2.3.1.2.	Mantenimiento eléctrico .....	58
	2.3.1.2.1.	Motores .....	58
	2.3.1.2.2.	Variadores de motores .....	59
	2.3.1.2.3.	Tableros eléctricos principales.....	59
	2.3.1.2.4.	Cajas de conexión .....	59
	2.3.1.3.	Indicadores del fabricante .....	60
	2.3.1.3.1.	Comparación y resultados .....	60
	2.3.1.4.	Parámetros actuales .....	61
	2.3.1.5.	Equipos en estados físicamente críticos .....	62
	2.3.1.5.1.	Proceso productivo .....	62
2.4.		Ficha histórica de mantenimiento .....	62
	2.4.1.	Mantenimiento mecánico en la línea de corrugado.....	62
	2.4.2.	Mantenimiento eléctrico en la línea de corrugado...	63
2.5.		Tipos de mantenimientos actualmente empleados .....	64
	2.5.1.	Mantenimiento predictivo.....	64
	2.5.2.	Mantenimiento preventivo.....	64

2.5.3.	Mantenimiento correctivo .....	65
2.6.	Control de calidad en la línea de corrugado.....	65
2.6.1.	Normas de calidad empleadas .....	67
2.6.2.	Sistema actual de control de calidad.....	67
2.6.3.	Problemas y/o quejas que se detectan actualmente .....	71
2.7.	Análisis del programa actual de capacitación de electromecánicos .....	71
2.8.	Determinar una mejora del programa de capacitación .....	72
2.9.	Confiabilidad de los equipos que conforman la mejora.....	73
3.	PROPUESTA PARA DESARROLLAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM).....	75
3.1.	Filosofía TPM.....	75
3.2.	Objetivos de la filosofía.....	75
3.3.	Cinco eses aplicadas a TPM .....	76
3.4.	Los ocho pilares de TPM .....	77
3.4.1.	Pilar de mejora focalizada .....	77
3.4.2.	Pilar del mantenimiento autónomo .....	78
3.4.3.	Pilar del mantenimiento planeado .....	79
3.4.4.	Pilar de la capacitación.....	80
3.4.5.	Pilar del control inicial .....	82
3.4.6.	Pilar del mejoramiento para la calidad .....	82
3.4.7.	Pilar de TPM en los departamentos de apoyo .....	83
3.4.8.	Pilar de seguridad, higiene y medio ambiente .....	83
3.5.	Equipos que conforman el mejoramiento .....	84
3.5.1.	Porta bobinas.....	84
3.5.2.	Pre calentadores.....	84
3.5.3.	Flautas .....	85

3.5.4.	Empalmadoras.....	87
3.5.5.	Elevadores .....	88
3.5.6.	Engomadoras.....	89
3.5.7.	Mesa de secado .....	90
3.5.8.	Banda de tracción.....	91
3.5.9.	Cortadora <i>stacker</i> .....	92
3.5.10.	Cocina de adhesivo .....	93
3.5.11.	Carro de transferencia .....	94
3.5.12.	Cajas reductoras.....	95
3.5.13.	Motores .....	95
3.5.14.	Variadores de motores .....	96
3.5.15.	Tableros eléctricos principales .....	96
3.5.16.	Cajas de conexión de potencia .....	97
3.6.	Datos de fallas presentadas en los equipos.....	98
3.7.	Formato de encuesta de análisis de criticidad .....	98
3.7.1.	Análisis AMFEC.....	99
3.8.	Mejoramiento del sistema de mantenimiento predictivo actual.....	102
3.9.	Índices de confiabilidad de los equipos que conforman el mejoramiento .....	103
3.9.1.	Tiempo medio hasta el fallo.....	103
3.9.2.	Tiempo promedio entre fallo .....	103
3.9.3.	Tiempo promedio para reparar .....	103
3.10.	Factores defectuosos en proceso de producción.....	104
3.10.1.	Factores de desperdicio .....	104
3.10.2.	Factores de tiempo perdido.....	105
3.11.	Adaptación del equipo .....	105
3.12.	Complemento de rutinas de mantenimiento.....	106

4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	107
4.1.	Herramientas de diagnóstico por utilizar .....	107
4.1.1.	Diagrama de árbol .....	107
4.1.2.	Determinación de los puntos críticos de control ...	108
4.1.3.	Hojas de registro.....	109
4.1.4.	Diagrama de Ishikawa (causa efecto) .....	109
4.1.5.	Diagrama de Pareto.....	110
4.1.6.	Análisis modal de fallas y efectos (AMFE) .....	112
4.1.7.	Análisis 5W, S+H.....	113
4.1.8.	Gráficos de control.....	114
4.1.9.	Histogramas.....	116
4.1.10.	Diseño de un sistema de muestreo .....	117
	4.1.10.1. Muestreo experimental y sus resultados .....	117
	4.1.10.2. Muestreo experimental y sus soluciones.....	118
	4.1.10.3. Estandarización del método de muestreo en el proceso productivo ....	118
4.2.	Interpretación de los datos recopilados.....	118
4.2.1.	Solución a los puntos críticos establecidos.....	118
4.3.	Sistema de control de calidad en base a la interpretación del diagnóstico .....	119
4.3.1.	Gráficos de control.....	119
4.3.2.	Sistema de muestreo.....	120
4.4.	Nuevas rutinas de mantenimiento en los equipos que conforman el mejoramiento .....	120
4.4.1.	Porta bobinas.....	120
4.4.2.	Pre calentadores.....	126
4.4.3.	Flautas .....	128



4.4.4.	Empalmadoras.....	137
4.4.5.	Elevadores .....	137
4.4.6.	Engomadoras.....	138
4.4.7.	Mesa de secado .....	138
4.4.8.	Banda de tracción.....	139
4.4.9.	Cortadora <i>Stacker</i> .....	139
4.4.10.	Cocina de adhesivo .....	139
4.4.11.	Carro de transferencia .....	140
4.4.12.	Cajas reductoras.....	140
4.4.13.	Motores .....	141
4.4.14.	Variadores de motores .....	142
4.4.15.	Tableros eléctricos principales .....	143
4.4.16.	Cajas de conexión .....	143
4.5.	Capacitación en base a las rutinas establecidas.....	143
4.5.1.	Capacitación de los operarios .....	143
4.5.2.	Capacitación de los mecánicos .....	144
4.6.	Costos .....	144
4.6.1.	Costos directos .....	145
4.6.2.	Costos indirectos .....	145
4.6.3.	Costos de mano de obra .....	145
4.6.4.	Costos de mantenimiento .....	146
4.6.5.	Costos por mantenimiento defectuoso .....	147
4.6.6.	Costos de insumos y materiales por utilizar .....	148
4.6.7.	Costos por tiempo perdido.....	148
4.6.8.	Costos por capacitación .....	148
4.6.9.	Costos por adaptar el equipo .....	149
4.6.10.	Costos por operación del equipo.....	151
4.6.11.	Costos por seguridad industrial .....	151
4.7.	Estándares establecidos.....	152

5.	MEJORA CONTINUA O SEGUIMIENTO .....	153
5.1.	Resultados .....	153
5.1.1.	Interpretación .....	153
5.1.2.	Alcance .....	154
5.2.	Identificación de factores de pérdidas .....	155
5.2.1.	<i>Check list</i> predefinido en base a las posibles pérdidas .....	155
5.2.2.	Diagrama causa efecto.....	156
5.2.3.	Interpretación de resultados .....	157
5.2.4.	Soluciones predefinidas .....	158
5.3.	Mantenimiento autónomo .....	159
5.3.1.	En base a los posibles factores de perdida preestablecidos.....	159
5.3.2.	Alcance de las soluciones .....	160
	CONCLUSIONES .....	161
	RECOMENDACIONES .....	163
	BIBLIOGRAFÍA .....	165
	APÉNDICES .....	167
	ANEXOS .....	173

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama de la empresa Sirio.....	6
2.	Plano de planta, empresa Sirio.....	14
3.	Estructura de acero de las bodegas de planta.....	15
4.	Distribución de planta por área.....	16
5.	Diagrama de operación de la línea de corrugado.....	19
6.	Diagrama de pasos del papel dentro de la línea de corrugado.....	22
7.	Vista lateral de una porta bobina móvil.....	23
8.	Precalentador.....	24
9.	Flautas corrugadoras o también llamados <i>singlefacers</i> (una cara).....	26
10.	Empalmador.....	27
11.	Rodillos elevadores de la placa de cartón.....	28
12.	Rodillo engomadora.....	28
13.	Mesa de secado.....	29
14.	Banda de tracción.....	30
15.	Cortadora.....	31
16.	Bandas superior e inferior del <i>stacker</i> .....	32
17.	Carro de transferencia.....	33
18.	Motor eléctrico de flauta corrugadora.....	34
19.	Variador de motor.....	35
20.	Caja reductora.....	36
21.	Partes de una placa de cartón.....	38
22.	Encuesta realizada para determinar las principales fallas.....	42
23.	Diagrama de flujo de procesos de la línea de corrugado.....	45

24.	Ondulaciones altas y baja .....	68
25.	Ondulaciones inclinadas.....	68
26.	Ondulado fracturado o incompleto .....	69
27.	Altura del ondulado.....	69
28.	Superficie de la placa de cartón arrugado.....	70
29.	Orillas de la placa de cartón dañado.....	70
30.	Pliego liso desalineado respecto del ondulado .....	71
31.	Metodología 5 eses aplicada a suministros de la línea de corrugadora.....	76
32.	Pilar de la mejora focalizada enfocada en Producción, Recursos Humanos y Mantenimiento.....	78
33.	Pilar de mantenimiento autónomo, mesa de secado .....	79
34.	Pilar de mantenimiento planeado operativo, <i>glue machine</i> .....	80
35.	Pilar de capacitación operativa, cabezal corrugador .....	81
36.	Pilar de control inicial.....	82
37.	Pilar de TPM en los departamentos de apoyo .....	83
38.	Pre calentador <i>linea</i> interno .....	85
39.	Flauta corrugadora .....	87
40.	Vista lateral de empalmadora.....	88
41.	Salida de elevadores .....	89
42.	Banda de tracción de mesa de secado .....	92
43.	Salida de <i>stacker</i> .....	93
44.	Carro de transferencia.....	95
45.	Formato de análisis de criticidad .....	99
46.	Diagrama de pasos para definir un fallo mecánico .....	100
47.	Tiempo de reparación por concepto de cambio de sellos de cilindro hidráulico de <i>clamp</i> .....	101
48.	Cilindro hidráulico dañado <i>declamp</i> de montacargas de alimentación a línea de producción.....	101

49.	Diagrama de árbol .....	107
50.	Puntos críticos de control en descarga de materia prima .....	108
51.	Hoja de registro de almacén de materia prima .....	109
52.	Diagrama Ishikawa aplicado a una bomba neumática.....	110
53.	Registro de paradas técnicas en corrugadora .....	111
54.	Diagrama de Pareto de las paradas técnicas de corrugadora.....	112
55.	Análisis AMFE sobre el fallo en un cilindro hidráulico del <i>clamp</i> del montacargas .....	113
56.	Análisis 5W,s + H.....	114
57.	Resultados de las mediciones de altura de onda de rodillo corrugador lado máquina y lado operador.....	115
58.	Gráfico de control, desgaste en rodillo corrugador .....	115
59.	Histograma del número de cajas defectuosas de un lote .....	116
60.	Distribución de componentes para un sistema de portabobinas .....	122
61.	Sistema mecánico de una portabobinas .....	124
62.	Cilindro hidráulico del brazo elevador de un portabobinas .....	125
63.	Conexion correcta de una manguera de vapor .....	127
64.	Parte interna de una junta rotativa Johnson.....	128
65.	Toma de temperatura de rodillos corrugadores .....	129
66.	Medición de la tensión en una faja de transmisión de potencia.....	131
67.	Correcta alineacion de poleas .....	132
68.	Correcto acoplamiento entre ejes.....	133
69.	Puntos de medición de temperatura en un motor eléctrico.....	134
70.	Puntos de medición de vibración en un motor eléctrico (a) .....	135
71.	Puntos de medición de vibración en un motor eléctrico (b) .....	136
72.	Compartimiento de escobillas.....	142
73.	Capacitación de operadores sobre la operación de equipo de corte..	144
74.	Costos directos de producción de una lámina de cartón .....	145
75.	Costos de mano de obra de la línea de corrugado .....	146

76.	Costos por mantenimiento.....	147
77.	Costos por mantenimiento defectuoso.....	147
78.	Horas de capacitación de octubre.....	149
79.	Adaptación de un <i>Modul Facer</i> Flauta A y E.....	150
80.	Comparación del modelo actual de producción y el modelo propuesto.....	150
81.	Número de operadores requeridos en la línea de corrugado.....	151
82.	Verificación de estado de la línea de corrugado.....	156
83.	Diagrama de causa efecto predefinido.....	157

## TABLAS

I.	Medidas de ondulación por pie lineal.....	17
II.	Altura de ondulación.....	39
III.	Ficha histórica de horas de paro por mantenimiento mecánico.....	63
IV.	Ficha histórica de horas de paro por mantenimiento eléctrico.....	63
V.	Altura de ondulado.....	66
VI.	Paros por mantenimiento correctivo (solo línea de corrugado).....	73
VII.	Ubicaciones de los puntos de medición de vibraciones en un motor eléctrico.....	135

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
°K	Grados Kelvin
Km	Kilómetros
<i>km<sup>2</sup></i>	Kilómetros cuadrados
m	Metros
<i>m<sup>3</sup></i>	Metros cúbicos
msnm	Metros sobre el nivel del mar
μ	Micras
mm	Milímetros
%	Porcentaje
Seg	Segundos





## GLOSARIO

<b>Aislante</b>	Material que impide la transmisión de calor, frío, sonido y electricidad.
<b>Apilar</b>	Acumulación de un objeto sobre otro hasta formar un conjunto.
<b>Banda</b>	Tira de algún material flexible que se utiliza para sujetar, trasladar o tirar de un objeto.
<b>Bobina</b>	Rollo de papel de diferentes espesores y características, la forma de solicitarla se basa en tres criterios: tipo de papel, gramaje y ancho de papel.
<b>BTU</b>	<i>British Thermal Unit</i> , unidad térmica británica.
<b>Cartón</b>	Lámina compuesta de tres capas de papel, la primera capa llamada <i>liner</i> externo, la segunda capa llamada <i>liner</i> interno y la capa central es llamada corrugado medio.
<b>CA-1</b>	Ruta interamericana hacia occidente de Guatemala.

<b>Chumacera</b>	Pieza metálica que se encuentra compuesta por un hueco donde descansa y gira el eje de una maquinaria.
<b>Cilindro</b>	Objeto o pieza de una máquina que se encuentra formada por una superficie lateral curva cerrada y dos planos paralelos que forman la base.
<b>Condensado</b>	Es el resultado del vapor que transfiere parte de su energía calorífica hacia algún equipo, producto o línea de producción.
<b>Corriente alterna</b>	Se le denomina corriente alterna a la corriente eléctrica que cambia de magnitud y polaridad cíclicamente.
<b>Corriente directa</b>	Se le denomina corriente directa a la corriente eléctrica que no cambia de magnitud y polaridad.
<b>Corrugado</b>	Se le denomina corrugado a la parte media en forma de ondulado dentro una lámina de cartón. Hay corrugado <i>liner</i> externo, o sea el papel que se utiliza en la cara exterior de una lámina de cartón y corrugado <i>liner</i> interno, el papel que se utiliza en la cara exterior de una lámina de cartón.

<b>Corrugado <i>medium</i></b>	Se le denomina corrugado <i>medium</i> al papel ondulado que se encuentra en el centro de una placa de cartón.
<b>Electromecánico</b>	Persona que posee conocimientos técnicos en mecánica y electricidad.
<b>Empaque</b>	Recipiente diseñado para contener, proteger, preservar, transportar y almacenar un producto.
<b>Enhebrado</b>	Se refiere a la actividad de pasar el papel por un conjunto de rodillos.
<b>Envoltura</b>	Parte exterior que rodea un objeto con el fin de preservar, proteger y evitar la contaminación.
<b>Excentricidad</b>	Se refiere a la no coincidencia entre el eje de rotación y el eje de simetría.
<b>Flauta corrugadora</b>	Rodillo que está conformado en su periferia por una superficie acanalada a todo lo largo del rodillo.
<b>Galga</b>	Instrumento que mide con precisión las longitudes muy pequeñas, para este trabajo se toma la galga para medir la profundidad del acanalado de la flauta corrugadora.
<b>Gap de goma</b>	Espesor de la película de adhesivo el cual es aplicado hacia el papel ondulado.

<b>Indicador</b>	Información que se utiliza para valorar las características de un hecho.
<b>KLB</b>	<i>Kraft Linerboard</i> , papel de revestimiento Kraft.
<b>Lubricante</b>	Sustancia aceitosa o grasa que se aplica directamente sobre una pieza mecánica en movimiento, su fin principal es reducir la fricción entre piezas rasantes.
<b>Mantenimiento</b>	Preservar en buen estado de funcionamiento y evitar la degradación de un objeto.
<b>Mecanismo</b>	Conjunto de piezas mecánicas entrelazadas entre ellas con el objeto de realizar un trabajo u operación mediante una energía mecánica aplicada.
<b>Ondulación</b>	Figura geométrica en forma de onda formada sobre una superficie.
<b>Organigrama</b>	Representación gráfica de los departamentos y cargos de una organización.
<b>Pivote</b>	Pieza cilíndrica donde se apoya un objeto el cual gira a través de este.
<b>Placa</b>	Pieza formada plana y delgada en el cual se realizará un trabajo.

<b>Predictivo</b>	Acción de predecir.
<b>Preventivo</b>	Acción de prevenir.
<b>Psi</b>	<i>Pound-force per Square Inch</i> , libra fuerza por pulgada cuadrada.
<b>Purga</b>	Eliminación y expulsión de un objeto de su lugar actual.
<b>Reproceso</b>	Actividades correctivas por realizar sobre un producto finalizado que no cumple con los requisitos solicitados.
<b>Rodamiento</b>	Pieza mecánica formada por un cuerpo retenedor en el cual van colocados cilindros o esferas de cualquier material que giran libremente.
<b>Seiketsu</b>	Estandarizar.
<b>Seiri</b>	Clasificar.
<b>Seiso</b>	Limpiar.
<b>Seiton</b>	Ordenar.
<b>Shitzuke</b>	Autodisciplina.

<b><i>SingleFacer</i></b>	Placa de cartón semiformada que consta de dos partes, ondulada y plana.
<b>Válvula</b>	Mecanismo que se utiliza para regular el flujo de un líquido.
<b>TPM</b>	<i>Total Productive Maintenance, (mantenimiento productivo total).</i>

## RESUMEN

El constante crecimiento de la industria de cartón corrugado y las exigencias de rentabilidad continua, calidad y satisfacción al cliente conllevan a una mejora continua en los procesos, haciéndolos más eficientes en la reducción de costos a través de distintos métodos de ingeniería.

Mantenimiento productivo total es la traducción de las siglas en inglés de TPM (*Total Productive Maintenance*). Es un sistema japonés basado en el mantenimiento industrial, desarrollado a partir del concepto de "mantenimiento preventivo operativo"<sup>1</sup> fue registrado por el Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) 1971.

TPM se enfoca en la mejora continua de los procesos a través de la unificación de esfuerzos entre la parte operativa y la parte mecánica de una línea de producción, busca mejorar la experiencia del operador induciéndolo a revisiones mecánicas donde posee mayor contacto y frecuencia de operación tales como: ajustes mecánicos, monitoreo de componentes que reduzcan la velocidad de operación, marchas en vacío, obstrucciones menores, limpieza de equipos electrónicos sensoriales, desgastes de piezas críticas, ruidos extraños en componentes rotativos, ordenamiento del área de trabajo, inspecciones de parámetros iniciales de operación, reducción de desperdicio.

---

<sup>1</sup>Cursos aula 21. Centro de Formación Técnica para la Industria. <https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-productivo-total-tpm/>. Consulta diciembre de 2016.

La filosofía TPM busca eliminar las horas pérdidas de producción debido a fallas menores producidas dentro del proceso o en su defecto el estado deficiente del equipo.

Se realizó también un plan de mantenimiento preventivo, para conservar en buenas condiciones de funcionamiento la maquinaria por medio de la programación de las acciones que podrán reducir la ocurrencia de las averías que originan el mal funcionamiento.

Para reforzar las habilidades y conocimientos de los trabajadores se diagnosticaron las necesidades de capacitación, se propuso el plan de capacitaciones y se llevó a cabo la capacitación del proyecto.



# OBJETIVOS

## General

Desarrollar un plan de mantenimiento productivo total (TPM), basado en la condición de los equipos de la planta de corrugado como mejora del sistema predictivo actual, para proveer mejora en la confiabilidad del producto.

## Específicos

1. Mantener el equipo de corrugado en estado óptimo de funcionamiento durante un lapso mayor, aumentando la eficiencia de la producción.
2. Proveer seguridad y confiabilidad por parte de los equipos hacia los empleados.
3. Encaminar el proceso de producción a la obtención de cero defectos de cartón corrugado para obtener una mayor producción anual.
4. Utilizar las herramientas de control de calidad para mantener el nivel óptimo del equipo de corrugado.
5. Aplicar los cuatros elementos significativos de: medición, lectura, monitoreo y control que permita reducir la frecuencia de fallas.
6. Manejar adecuadamente los equipos de medición de primera generación para la detección de fallas prematuras.

7. Evaluar las fuentes de descargas tanto de líquidos como de gases de la planta y los posibles efectos que conlleve al medio ambiente.
8. Estudiar y mejorar el programa de capacitación actual, con el fin de hacer más efectivo su trabajo, incluyendo aspectos técnicos y educación de valores morales, para aumentar la responsabilidad personal.

## INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de la calidad industrial en la producción de cartón corrugado conduce su atención al mejoramiento continuo en los diferentes procesos y al funcionamiento óptimo por parte de los equipos que realizan el proceso productivo con el fin de aumentar la competitividad de la organización. Para garantizar una calidad, se ha pensado en la estrategia denominada Mantenimiento Productivo total (TPM), una serie ordenada de actividades que, una vez implementada, ayuda a mejorar la competitividad de la organización.

Este método se basa en la eliminación rigurosa de las deficiencias de un proceso productivo orientado a lograr cero accidentes, cero defectos y cero pérdidas. Dentro de la planta de cartón corrugado se pretende desarrollar un plan de mantenimiento productivo total (TPM), basando en la condición de los equipos de la planta de corrugado como mejora del sistema predictivo actual para proveer mejora en la confiabilidad del producto en la industria cartonera. Esta empresa se dedica básicamente a la fabricación de cajas de cartón corrugado, para la industria alimenticia como principal segmento de mercado y con tendencias a ingresar en el mercado del banano.

A través del sistema TPM, o mantenimiento productivo total se busca maximizar el tiempo óptimo de funcionamiento de los equipos por medio de la interacción entre los operarios y el mantenimiento con intervenciones menores sobre el equipo. Actividades que hacen uso del recurso más importante para cualquier organización en este caso el recurso humano, son las actividades de inspección, revisión, desplazamientos, lubricación, correcta manipulación del

equipo y limpieza que se realizan diariamente para lograr una mayor eficiencia de las condiciones actuales del equipo de la planta de corrugado.

# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. Inicios de la empresa en Guatemala**

Empaques Sirio, inicio el 5 de febrero de 1999 en Guatemala, con el respaldo de un grupo empresarial con más de 25 años de existencia y con más de 52 empresas exitosas dedicadas principalmente a la industria del empaque (cajas de cartón, envases de hojalata, envases plásticos y cajas de cartulina) en Costa Rica, Guatemala, Nicaragua, Perú, México y Ecuador.

Como estrategia inicial la empresa se ubicó en el kilómetro 67,5 de la carretera interamericana, esto se debe a que en el occidente de Guatemala no se cuenta con competidores en el área de corrugado, actualmente la empresa se localiza en el mismo sitio.

La empresa inició con una flauta corrugadora, dos impresoras y con pocos colaboradores, sin embargo, durante varios años se ha conseguido un exitoso crecimiento de las instalaciones, el equipo que conforma todo el proceso productivo y el recurso humano.

Actualmente fabrica cajas de cartón corrugado, que sirve para proteger, transportar y mercadear los productos que los distintos clientes requieren. Como principal objetivo busca la satisfacción del cliente a través de la responsabilidad comprometiéndose a cumplir con la calidad de las cajas, el tiempo de entrega en el lugar indicado y la cantidad requerida.

## **1.2. Informe general**

Define las principales características de una organización como el propósito de la organización, ubicación estratégica y razón por la cual existe. Con el fin de proveer una fácil comprensión.

Actualmente la compañía cuenta con la norma ISO 9001: 2008 indicando un sistema de gestión de calidad eficiente, con el fin de que todos los elementos de administración de calidad con los que actualmente cuenta sean efectivos, logrando con esto administrar y mejorar continuamente la calidad en los productos que fabrica.

Se fabrican diferentes tipos de cajas de cartón corrugado dependiendo de las exigencias que los clientes requieran tales como: tamaño, diseño y resistencia.

Producir y comercializar productos de panadería y pastelería de excelente calidad, a través del abastecimiento diario a los canales de distribución con productos que generen diferencia comercial, permitiendo rentabilidad a los clientes

Empresa Sirio actualmente fabrica tres tipos de ondulaciones para proveer distintas resistencias a la compresión de las cajas de cartón corrugado, siendo estas: ondulación tipo E, ondulación tipo B, ondulación tipo C, que más adelante se expresaran con más detalle las diferencia entre cada una.

### **1.2.1. Ubicación**

Empaques Sirio se ubica en el kilómetro 67,5 de la carretera Interamericana, Chimaltenango, Guatemala. Como principal vía de comunicación cuenta con la CA-1 para el sistema de transporte, utiliza la CA-1 para transportar las bobinas provenientes de Costa Rica además de utilizarla para entregar pedidos de clientes ubicados en México ya que uno de los principales objetivos de la empresa es expandir su mercado en el sur de México.

### **1.2.2. Misión**

En empaques Sirio, nos dedicamos a la fabricación y comercialización de empaques de cartón corrugado, en el triángulo norte de Centroamérica y el sur de México. Garantizando la satisfacción a sus clientes mediante la responsabilidad y eficiencia en los procesos, entregas a tiempo en el lugar indicado, cantidad y calidad, con precio justos, a través de los sistemas de información integrados.

### **1.2.3. Visión**

Crecer para lograr el liderazgo en el Triángulo Norte de Centro América y lograr reconocimiento en el sur de México a través de la atracción y retención de gente talentosa que contribuya al crecimiento, innovación y mejora continua de nuestra organización.

### **1.3. Estructura organizacional**

Establece los distintos puestos de trabajo de acuerdo con la jerarquía y responsabilidad dentro de la organización, la finalidad de la estructura organizacional es de diseñar una estructura que facilita la obtención de los objetivos planeados con el menor costo posible.

Para obtener una estructura organizativa eficiente es necesario coordinar las distintas actividades asignando un director o supervisor que tome las decisiones que se necesiten, se debe coordinar de forma vertical y horizontalmente la estructura organizativa que se posee para conseguir trabajar de forma óptima y alcanzar las metas fijadas.

Es importante fijar las distintas áreas de mando que se deban tener y los subordinados que puede tener el director de cada área, este número se fundamenta en el campo de control administrativo, de manera que el director pueda mantener un control de la eficiencia de sus subordinados, teniendo la necesidad de tener un número limitado de subordinados por el costo que representan.

Cada estructura organizativa es diferente una de otra debido a que cada organización realiza distintas actividades para alcanzar las metas propuestas.

#### **1.3.1. Organigrama**

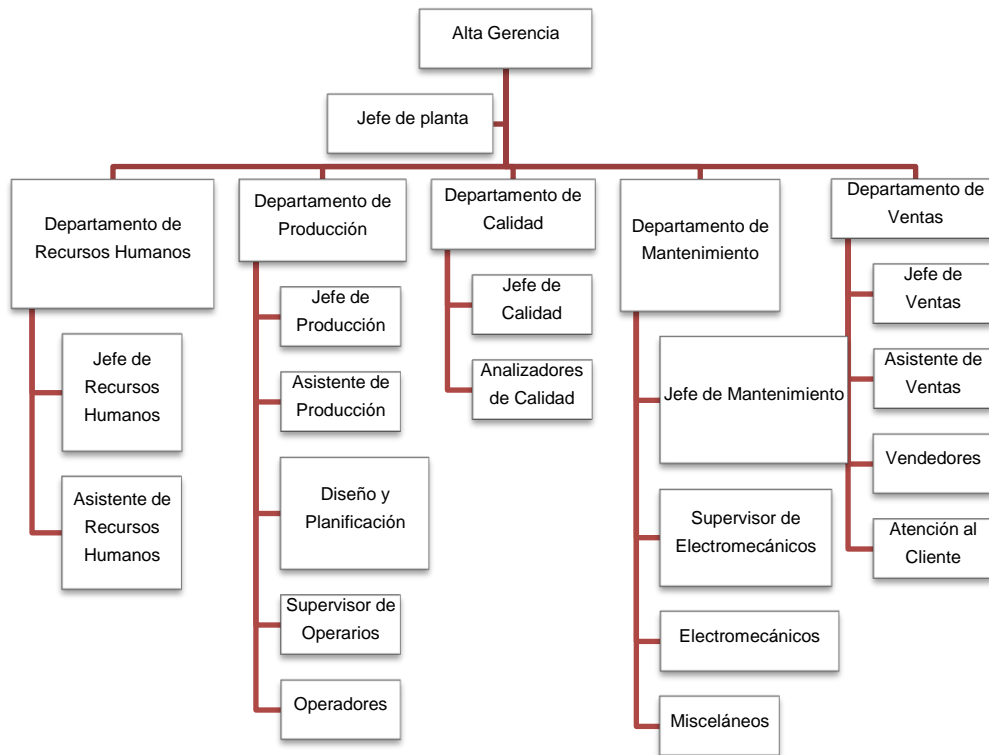
Define mediante una representación gráfica los distintos departamentos de trabajo que componen una organización, además de que a través de este se puede visualizar los encargados y las líneas de mando que componen cada departamento, el organigrama debe presentar todos los elementos de



autoridad, niveles de jerarquía y las distintas relaciones entre ellos. Todo organigrama debe proporcionar una información fácil de entender y sencillo al momento de ser utilizado, como medida informativa puede poseer los nombres de las personas encargadas de cada departamento o división que se posea dentro de la organización.

Esta puede ser modificada de acuerdo con los cambios que la organización pueda tener durante su crecimiento, es importante no sobrecargar la estructura organizativa con los puestos de los subordinados debido a que no se cumple con el objetivo de proporcionar información clara y sencilla de comprender, ver figura 1.

Figura 1. Organigrama de la empresa Sirio



Fuente: elaboración propia.

### 1.3.2. Puestos y funciones

A continuación, se presentan los distintos puestos y funciones:

- Alta Gerencia: es el Gerente General y tiene como función principal dirigir y gestionar los asuntos de la empresa, también es el encargado de trazar los objetivos a largo plazo y determinando el curso de acción a seguir para alcanzar los objetivos trazados, además de medir en forma cualitativa y cuantitativa la ejecución de las metas trazadas.

- Jefe de planta: es el encargado de velar por que todos los procesos y operaciones que ocurren dentro de la planta de producción se desarrollen de acuerdo con lo planificado, además de ser el responsable de las actividades del proceso productivo, logística y buen funcionamiento del aprovisionamiento.
- Jefe de Recursos Humanos: además de la contratación de nuevos empleados se encarga también de velar por la satisfacción de los trabajadores de la empresa tales como: clima laboral, condiciones de seguridad laboral, salud ocupacional y factores higiénicos. Esta persona es la encargada de realizar la normativa de contratación de personal, lineamiento y estipulaciones del contrato laboral. Realizar la entrevista final a los trabajadores y determinar las personas encargadas de realizar las distintas capacitaciones.
- Asistente de Recursos Humanos: se encarga de llevar a cabo las actividades menores del jefe de recursos humanos tales como permisos de salida de los trabajadores, recepción de papelería y redacción de documentos, además de realizar la calendarización de las capacitaciones tales como: ergonomía, economía familiar y capacitación técnica.
- Jefe de producción: su función principal es llevar a cabo la planificación de la producción y trazar las metas a mediano plazo dentro de su jurisdicción, además de controlar los insumos, relaciones laborales, permisos de trabajo y entendimiento del proceso de producción.
- Asistente de producción: junto con el supervisor de producción se encarga de velar por el cumplimiento de las metas trazadas por el jefe de

Producción, además de verificar el desarrollo del proceso productivo y verificar que se cumpla con el debido proceso de calidad productiva.

- **Diseño y planificación:** se encarga de realizar el diseño gráfico, tamaño y forma de la caja, planificación del prototipo y fecha de entrega del producto terminado, en caso de que el cliente no posee el diseño se le provee uno de acuerdo con las necesidades de su producto tales como: tamaño del producto, es necesario o no la ventilación en caso de alimentos, peso del producto y estado físico de este.
- **Supervisor de operarios:** es la persona encargada de verificar que los trabajadores operarios realicen correctamente su labor además de planificar las metas a corto plazo en su área de trabajo. Entre las metas más comunes se encuentra la reducción de desperdicio por mala manipulación del equipo, reducción del tiempo de producción y establecer una solución a los puntos críticos del proceso productivo.
- **Operadores:** personas que operan los distintos equipos que conforman la planta de producción, además de poseer un amplio conocimiento del equipo el cual opera debe de asumir la responsabilidad de alcanzar la producción planificada.
- **Jefe de calidad:** conjuntamente con el jefe de producción se encargan de velar por que se cumplan los requerimientos y necesidades que el cliente requiere además de trazar las metas a mediano plazo en su jurisdicción, se encarga también de supervisar que se realicen correctamente las mediciones de calidad establecidas y se apliquen los factores de rechazo del producto por concepto de calidad.

- Analizadores de calidad: personas designadas para verificar la calidad del cartón realizando distintas pruebas tales como: resistencia, humedad, tostado, medidas correctas y producto defectuoso.
- Jefe de Mantenimiento: es el encargado de trazar las metas a mediano plazo concerniente a la reducción del costo de mantenimiento, además de poseer conocimientos suficientes sobre el mantenimiento que se realizan en cada equipo.
- Supervisor de electromecánicos: es la persona encargada de verificar que los trabajadores electromecánicos realicen correctamente su labor además de trazar metas a corto plazo en su respectiva área de trabajo.
- Electromecánicos: son las personas encargadas de realizar el mantenimiento eléctrico y mecánico a los distintos equipos de la planta de corrugado.
- Misceláneos: estas personas se encargan de realizar actividades menores tales como: limpieza de equipo de oficina, limpieza de oficina y como función principal es mantener las instalaciones de la planta de producción limpias de suciedad.
- Jefe de ventas: se encarga de trazar las metas a mediano plazo concerniente al aumento de ventas además de velar por que los empleados realicen las ventas necesarias para cumplir los objetivos de la organización.

- Asistente de ventas: se encarga de la recepción y documentación de las características y requerimientos que el cliente requiere.
- Vendedores: personas que se encargan de visitar a las distintas empresas ofreciendo los servicios que proveen con el fin de aumentar los ingresos de la empresa.
- Atención al cliente: como función principal es velar por la satisfacción del cliente además de recibir los pedidos y quejas de los clientes.

#### **1.4. Mantenimiento**

Son actividades e intervenciones que se realizan en algún equipo o máquina con el fin de preservar su estado físico, funcionamiento, durabilidad, eficiencia, para el cual fue diseñado. El programa de mantenimiento incluye distintas actividades como: reparaciones, reemplazos de componentes, mediciones de acuerdo con los indicadores del fabricante, revisiones, comprobaciones entre otras.

Además de incluir rutinas preestablecidas necesarias para mantener los equipos se aplica también hacia la instalación de la planta tales como: revisión del estado físico del edificio, mobiliario, sistema estructural y propiedades entre otras.

##### **1.4.1. Mantenimiento preventivo**

Son intervenciones menores previamente planeadas tales como: lubricación, daños físicos en procesos, vibración, calibración, cambio de piezas que puedan estar llegando a su vida útil y limpieza superficial. Con el fin de

preservar el estado físico del equipo y asegurar su estado óptimo de funcionamiento durante un tiempo determinado.

Este mantenimiento puede determinarse en base a las recomendaciones hechas por el fabricante del equipo o maquinaria, las recomendaciones de expertos o acciones llevadas en equipos similares. Como objetivo principal busca que el equipo trabaje durante un lapso mayor en un estado óptimo.

#### **1.4.2. Mantenimiento correctivo**

Estas actividades de mantenimiento no se han previsto y son las más comunes debido a que se corrige una falla presentada en el acto de forma imprevista, alargando el tiempo de mantenimiento debido a que no se posee los materiales suficientes para realizar la reparación, entre los repuestos que no se posee se encuentran: ejes debido a su tamaño, bandas transportadoras, tuercas que se ordenan a fabricar al torno debido a que no existe fabricación comercial, electroválvulas y motores eléctricos.

Como parte del inventario de bodega se posee los siguientes repuestos: fajas en 5V de diferentes tamaños, cojinetes de fabricación comercial, mangueras hidráulicas, tornillos y tuercas de fabricación comercial de diferentes tamaños, mangueras neumáticas, chumaceras de distintos tamaños, brocas de diferentes medidas. Para realizar el mantenimiento preventivo se posee los siguientes lubricantes, Grasa EP- 2, Aceite Omala 220, Tellus 68 y Nyecorr 140.

#### **1.4.3. Mantenimiento predictivo**

Este mantenimiento se basa en el análisis estadístico para pronosticar la avería de un componente que forma parte de un equipo en base a un historial

previamente realizado, con el fin de realizar un plan de reemplazo justo antes de que falle. Entre las acciones predictivas más comunes se encuentran: análisis de vibraciones, análisis de aceites, análisis de ultrasonidos, control de espesores para evitar el desgaste, termografía, control de humos de combustión.

Todos estos datos de las acciones predictivas se tabulan para determinar el cambio continuo que se va obteniendo mediante la realización de una gráfica, siguiendo el curso de degradación o desalineación según sea el caso.

### **1.5. Costos por mantenimiento**

Son los costos que conlleva la realización de una rutina de mantenimiento, entre los cuales se encuentran los costos directos, costos indirectos, costos por tiempo ocioso y costo de reprocesamiento.

Es de suma importancia planificar el mantenimiento debido a que es indispensable llevar un sistema de control contable. A través de una adecuada planificación se puede determinar un estimado del costo que conlleva la realización del mantenimiento tanto anual, semestral, mensual incluso diario. El fin de la planificación de mantenimiento es para que se le asigne un presupuesto anual al departamento de mantenimiento en base a las intervenciones por mantenimiento eléctrico y mecánico planificado con anterioridad.

- Costos directos: son los costos que se relacionan directamente con el mantenimiento, por ejemplo: evaluación del estado del equipo, repuestos, materiales necesarios para la remoción y la instalación del componente averiado y de la mano de obra.



- Costos indirectos: son los costos que genera la avería presentada debido a los daños ocasionados en los materiales, equipos, materia prima y productos.
- Costos por tiempo ocioso: son los costos resultantes de tener el equipo o la maquinaria parada por defecto alguno.
- Costo por reproceso: este tipo de costo se genera en el momento en que se vuelve a procesar el producto no concluido satisfactoriamente, debido a que el equipo no se encuentra en estado óptimo de funcionamiento.
- Costo de oportunidad: son consecuencia de las ventas perdidas por falta de producto no producido, como consecuencia del paro de la maquinaria de producción.

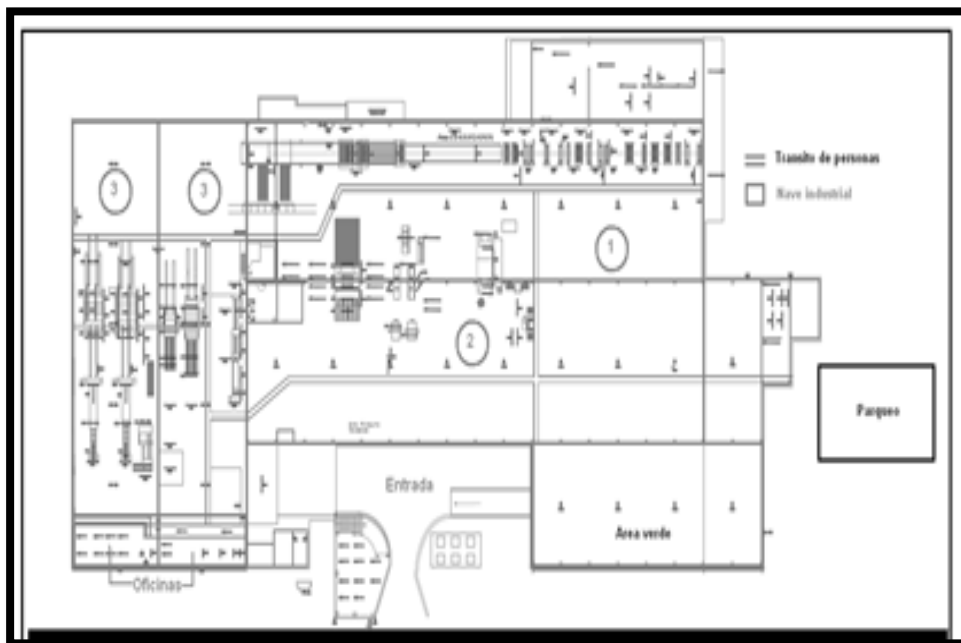
#### **1.6. Descripción de la planta**

La planta de corrugada cuenta con un edificio de segunda categoría y cuenta con las siguientes naves industriales.

- Una nave industrial de dos aguas específicamente para la línea de corrugado y materia prima.
- Una nave industrial de dos aguas para el almacenamiento de producto terminado.
- Dos naves industriales de dos aguas para el área de impresoras, dobladoras finales y oficinas administrativas, ver figura 2 en siguiente página.

- Cada una de las naves anteriormente descritas cuentan con iluminación natural y artificial.
- A excepción de las naves de materia prima y corrugado, las otras naves anteriormente descritas poseen piso de concreto con resistencia de 3 000 psi.
- La nave de corrugado y materia prima posee un piso de 4 000 psi debido al peso de la materia prima. Cada bobina de papel oscila entre 2 000 kg-3 000 kg.

Figura 2. **Plano de planta, empresa Sirio**



Fuente: elaboración propia, proporcionado por la empresa.

- Cada nave se compone de lo siguiente
  - Armadura de acero para el soporte del techo
  - Vigas de acero utilizando perfil en forma de I
  - Láminas galvanizadas recubiertas de zinc
  - Láminas transparentes para realizar la iluminación natural
  - Iluminación artificial por medio de luminarias de 40 vatios
  - Piso de cemento y acabado fino
  - Sistema de descarga pluvial
  - Sistema de ventilación natural

Ver figura 3, estructura con alma de acero que conforma las bodegas de la planta de corrugado.

Figura 3. **Estructura de acero de las bodegas de planta**

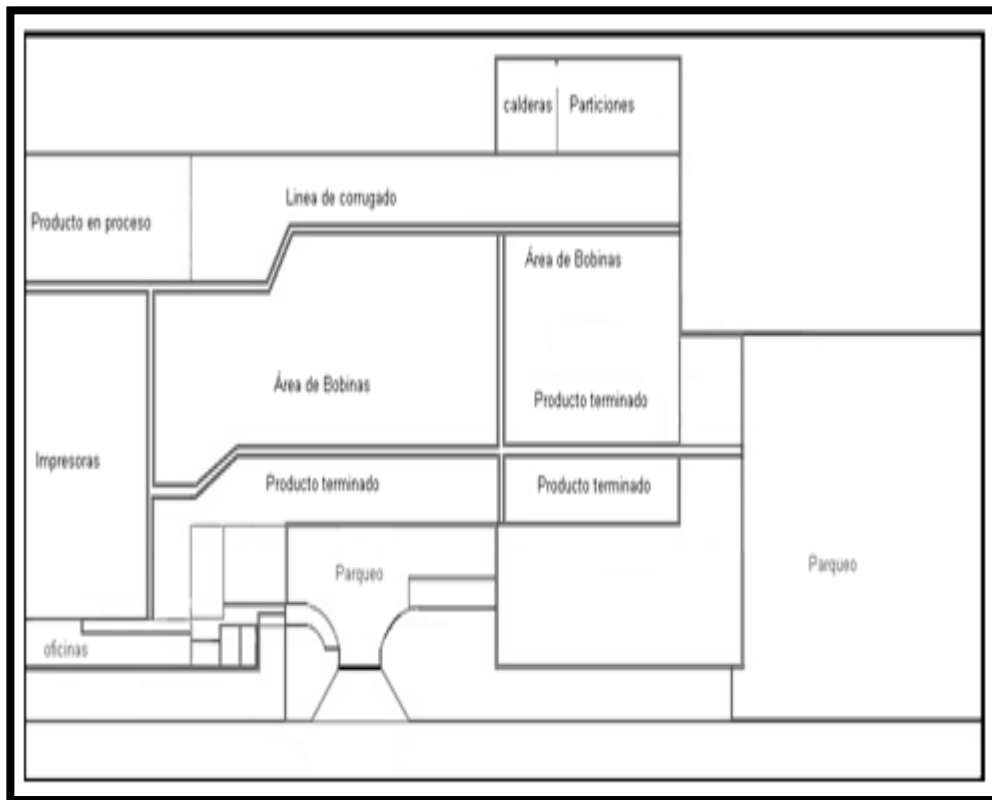


Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en las bodegas de planta.

### 1.6.1. Distribución de planta

La planta se encuentra distribuida de acuerdo con una producción en forma continua debido a que en cada estación de trabajo se realiza un proceso productivo en particular y los recursos invertidos difieren en cada estación de trabajo, ver figura 4, distribución de planta seccionada por las distintas áreas que conforma la planta.

Figura 4. Distribución de planta por área



Fuente: elaboración propia.

### 1.6.2. Descripción de las líneas de corrugado

La línea de corrugado es el corazón de todo el proceso productivo, debido a que es el encargado de producir las planchas de cartón en base a los siguientes requerimientos: Espesor de la plancha de cartón, medidas requeridas por el cliente, dureza superficial, grado de humedad de la plancha.

Las placas de cartón corrugado constituyen el elemento esencial para formar una caja de cartón, la resistencia al impacto es un factor importante al momento de fabricar una caja de cartón, esta resistencia al impacto se encuentra condicionado por el número de ondulaciones por pie que posee cada placa o lamina. Dentro de la línea de corrugado existen tres distintos equipos corrugadores llamados flautas que se encargan de proveer la ondulación al pliego de cartón, en la siguiente tabla se muestran los tipos de ondulaciones para una placa de cartón, ver tabla I para determinar el número de ondulaciones/pie.

Tabla I. **Medidas de ondulación por pie lineal**

<b>Tipo de flauta</b>	<b>Número de ondulaciones o flautas por pie</b>
Flauta E	90 flautas
Flauta B	47 flautas
Flauta C (común)	38 flautas

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

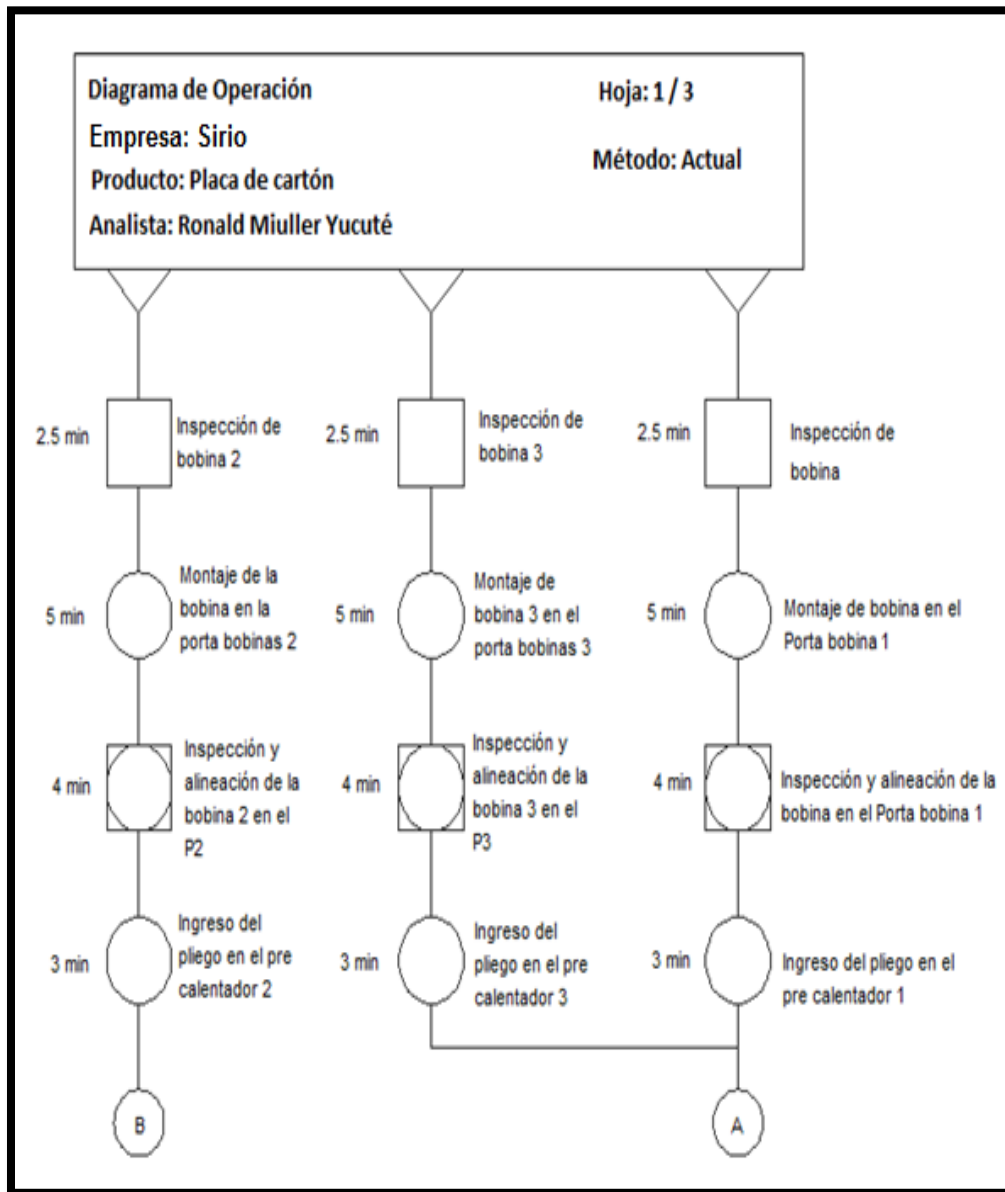
Como se observa en la tabla anterior existen tres tipos de ondulaciones dentro de esta línea en análisis, cada ondulación provee una resistencia diferente que va a depender de las condiciones siguientes:

- Gramaje del papel: capacidad que posee el papel de soportar una carga determinada, este gramaje es definido según las necesidades del cliente, el rango de gramaje utilizado va desde 98 gr/m<sup>2</sup> hasta 439 gr/m<sup>2</sup>.
- Papel reciclado: el proceso del reciclaje del cartón comienza con la clasificación de cajas libres de químicos y grasas, posteriormente se trituran y pasan al pulper a formar una pasta homogénea, esta pasta se conduce por ductos que llegan a la mesa de aplicación donde inicia el proceso de creación del papel.
- Geometría de la caja: en la mayoría de los casos, las cajas de cartón corrugado se encuentran bajo compresión vertical debido a las estibas realizadas y el peso del producto por contener, es por ello la necesidad de ajustar la caja hacia el tamaño del producto.
- Condiciones de ambiente de la caja: los ambientes principales a las cuales es sometido una caja de cartón corrugado son los siguientes: refrigeración, intemperie y humedad en bodegas de almacenaje.

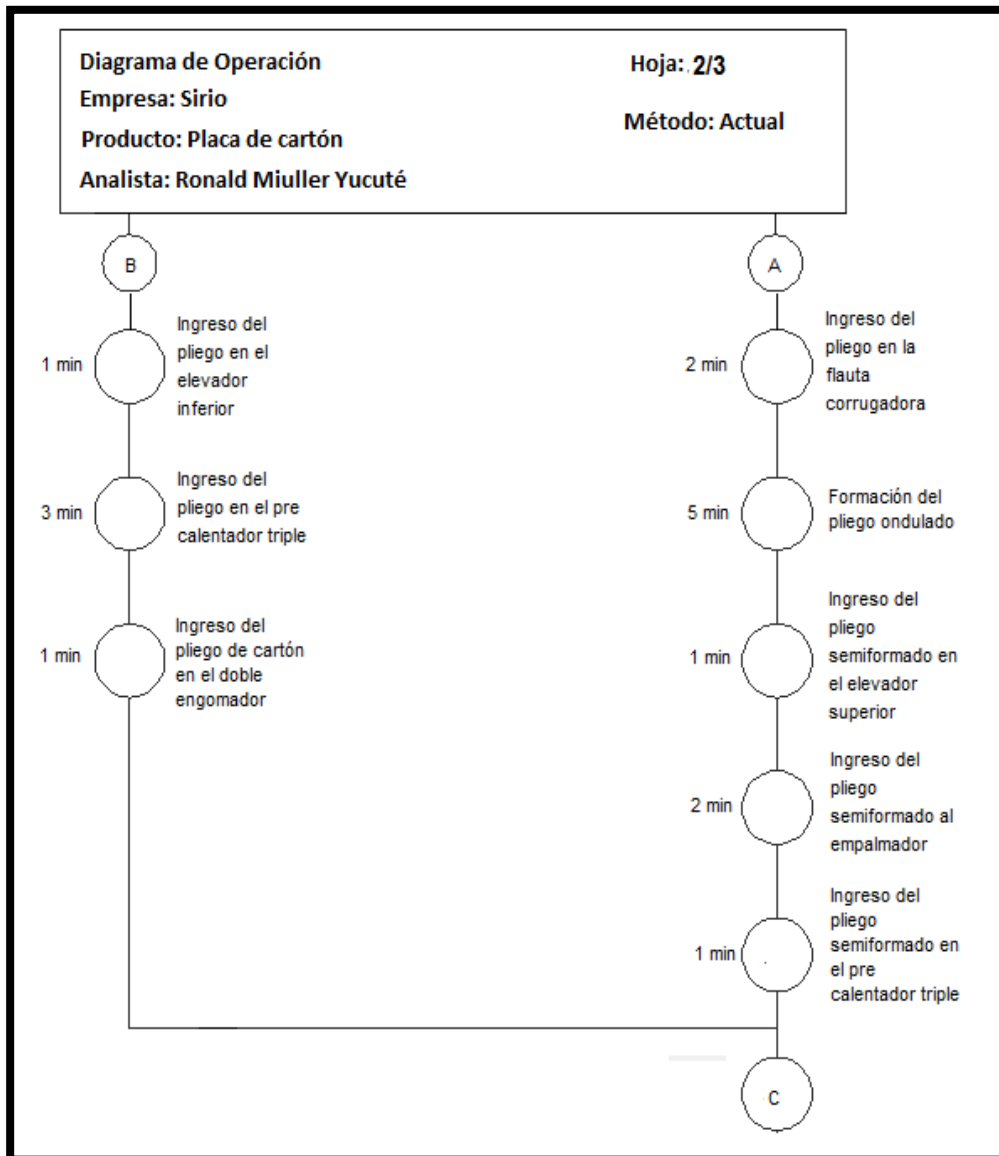
La línea de producción está conformada por los siguientes equipos que más adelante se especificaran: porta bobinas, precalentadores, flautas corrugadoras, empalmadoras, engomadoras, elevadores, mesa de secado, banda de tracción, cortadora, *stacker*, cocina de adhesivo, carro de transferencia, motores, variadores de motores, cajas reductoras y tableros eléctricos.

El proceso para formar una placa de cartón se encuentra detallado en los siguientes diagramas de operación según figuras 5 en las páginas siguientes.

Figura 5. Diagrama de operación de la línea de corrugado

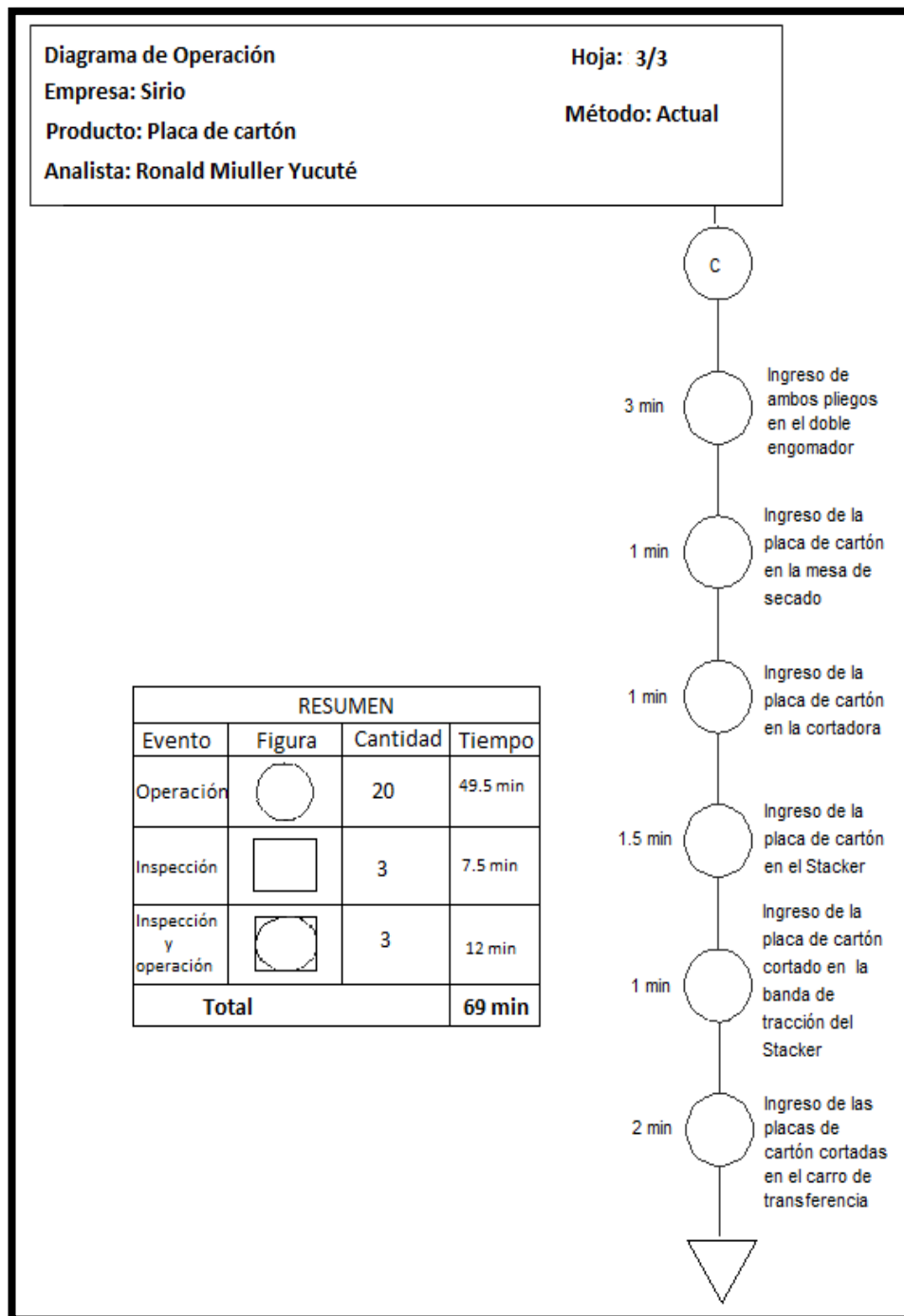


Continuación de la figura 5.





Continuación de la figura 5.

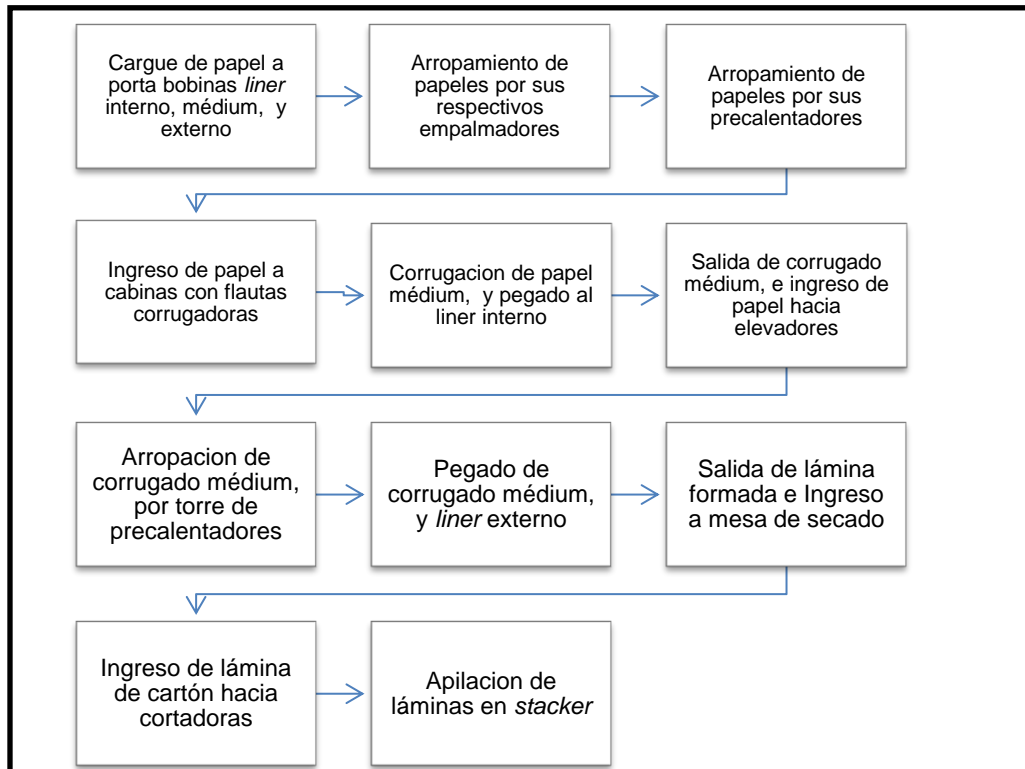


Fuente: elaboración propia.

### 1.6.3. Equipos que conforman la línea de corrugado

Es la acción que realiza cada equipo para el cual fue creado y designado en la línea de corrugado. La línea de corrugado se compone por los siguientes equipos: porta bobinas, empalmadoras, engomadoras, flautas corrugadoras, precalentadores, elevadores, mesa de secado, cortadora y apiladora.

Figura 6. Diagrama de pasos del papel dentro de la línea de corrugado



Fuente: elaboración propia.

### **1.6.3.1. Porta bobinas**

Equipo encargado de soportar y desenrollar el pliego de cartón proveniente en forma cilíndrica denominado bobina, como partes principales consta de los siguientes: eje de desplazamiento, eje pivote, tornillo sin fin, puntas sostenedoras de bobina, sistema de frenado, sistema hidráulico, cilindros hidráulicos,

**Figura 7. Vista lateral de una porta bobina móvil**

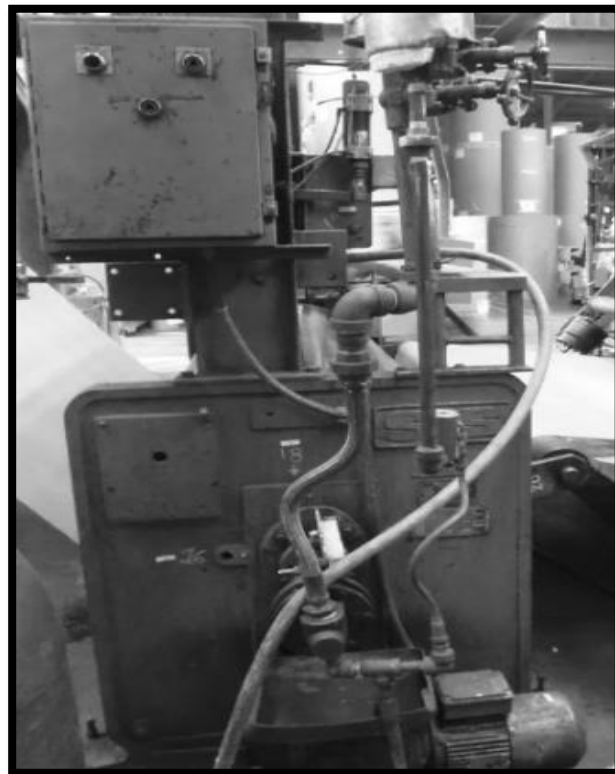


Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio Chimaltenango, Guatemala.

### 1.6.3.2. Precalentadores

Equipo que elimina la humedad del pliego proveniente del porta bobina, este equipo consta de un cilindro giratorio al cual es calentado por medio de vapor seco y es capaz de evacuar condensado, el pliego rodea superficialmente al cilindro previamente calentado y por contacto directo elimina la humedad, como principales componentes posee brazos arropadores, bombo principal o también llamado cilindro precalentador, rodillos tensores, motor principal de 1HP y junta rotativa, ver figura 8, vista lateral lado motriz de un precalentador.

Figura 8. Precalentador



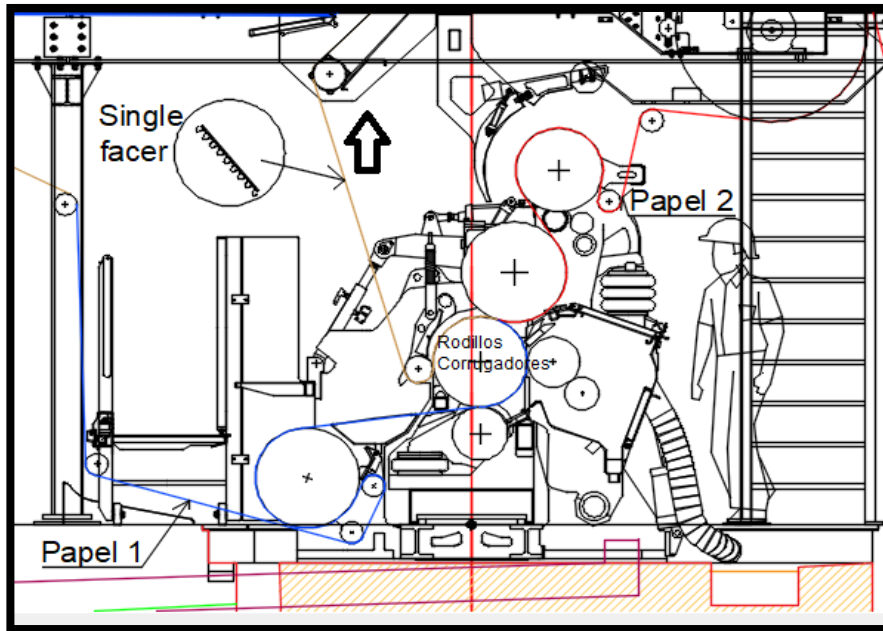
Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

### 1.6.3.3. Flautas

Las flautas corrugadoras poseen un papel muy importante dentro de la línea de corrugado debido a que estos equipos generan la ondulación que se encuentra internamente entre ambos pliegos que forman una placa de cartón. Esta ondulación es llamada también flauta y dentro de la línea de corrugado se poseen tres flautas corrugadoras distintas las cuales son: flauta E, flauta B y flauta C. Los rodillos corrugadores son calentados internamente a través de vapor seco hasta alcanzar una temperatura de 170 °C, son calentados para darle forma al papel y proporcionarle la onda requerida por el diseño de la caja.

El pliego seco de cartón proveniente del pre calentador (papel 1) pasa en medio de dos rodillos acanalados que le dan la ondulación al respectivo pliego y este pliego de cartón ondulado es adherido con goma a un pliego de cartón liso proveniente de otro precalentador (papel 2), a esta unión del papel acanalado y el papel liso es denominado *single facer*, que más adelante es pegado con otro pliego de cartón liso llamado *liner* externo para formar una placa de cartón completa, esto se debe a que cada flauta tiene la capacidad de pegar un solo pliego de cartón liso al pliego ondulado, ver figura 9, esquema de la vista lateral de una flauta corrugadora.

Figura 9. **Flautas corrugadoras o también llamados *singlefacers* (una cara)**

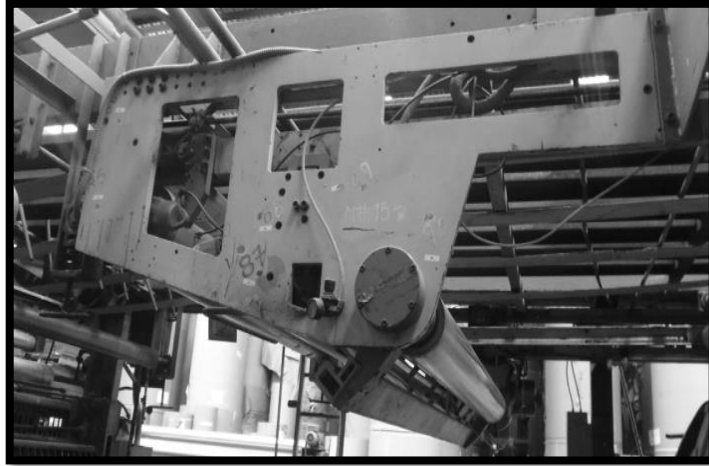


Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Esquema de vista lateral de las flautas corrugadora.

#### 1.6.3.4. **Empalmadoras**

La función de la empalmadora es conducir las placas de cartón semiformadas provenientes de las flautas corrugadoras por encima del precalentador y la porta bobinas a través de un puente hasta llegar a la doble engomadora.

Figura 10. **Empalmador**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### **1.6.3.5. Elevadores**

Este mecanismo de elevación consta de un rodillo elevador superior de entrada y un rodillo elevador inferior de entrada, que son los encargados de elevar el *single* hacia el puente de traslación, con el fin de que el *single* formado sea dirigido por encima del puente hacia la doble engomadora para unirle el último papel y formar la lámina de cartón completa. ver figura 11 en la siguiente página, rodillos elevadores de *single facer*, flauta corrugadora tipo C.

Figura 11. **Rodillos elevadores de la placa de cartón**

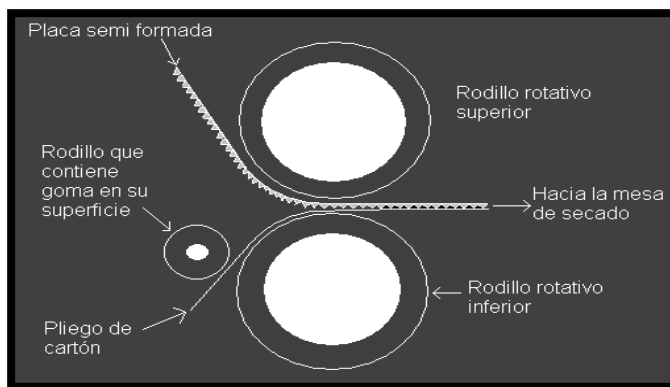


Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### 1.6.3.6. **Engomadoras**

El equipo denominado engomadora, es el encargado de realizar el pegado del pliego final para completar la plancha de cartón semiformada proveniente de las flautas corrugadoras(*singlefacer*), ver figura 12, vista lateral de rodillos.

Figura 12. **Rodillo engomadora**



Fuente: elaboración propia.

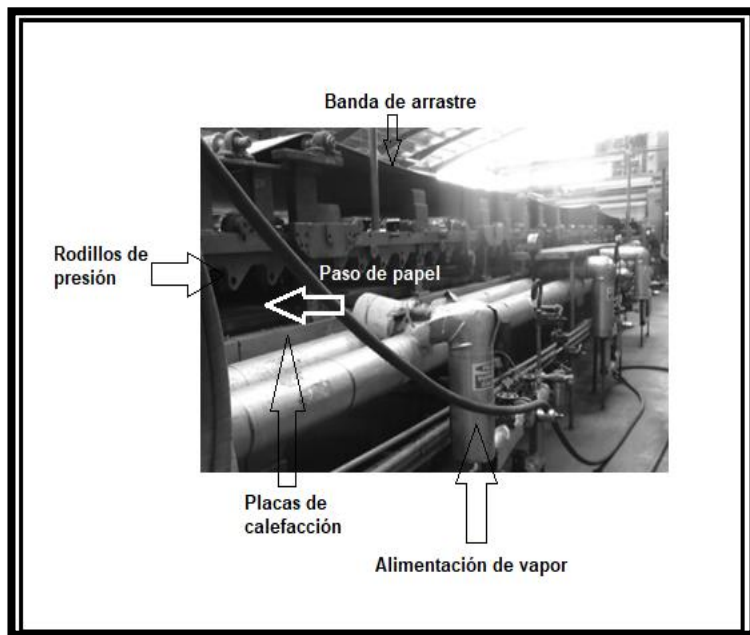


### 1.6.3.7. Mesa de secado

La mesa de secado se compone de varias placas de calefacción que son calentadas por medio de vapor a una temperatura variable que depende de la velocidad y gramaje de papel, las placas de calefacción se encargan de transmitir el calor hacia la placa de cartón húmeda con el fin de eliminar la humedad de goma, del *liner* externo del papel.

Los rodillos de presión generan la presión hacia una banda de lona para que el pliego de cartón no resbale durante su arrastre y este sea arrastrado por tracción por la banda a lo largo de la mesa de secado hasta llegar a la cortadora, ver figura 13, lado máquina de una mesa de secado.

Figura 13. Mesa de secado

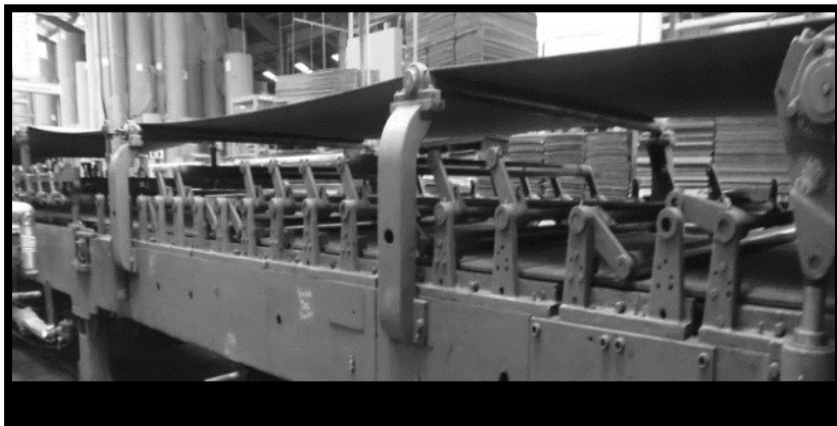


Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### **1.6.3.8. Banda de tracción**

La banda de tracción es la encargada de arrastrar la placa de cartón a lo largo de la mesa de secado, está compuesta por material de lona y engrapado en ambos lados rota a lo largo de la mesa de secado con el objetivo de proveer el movimiento necesario al papel, ver figura 14, banda de tracción lado operador.

Figura 14. **Banda de tracción**



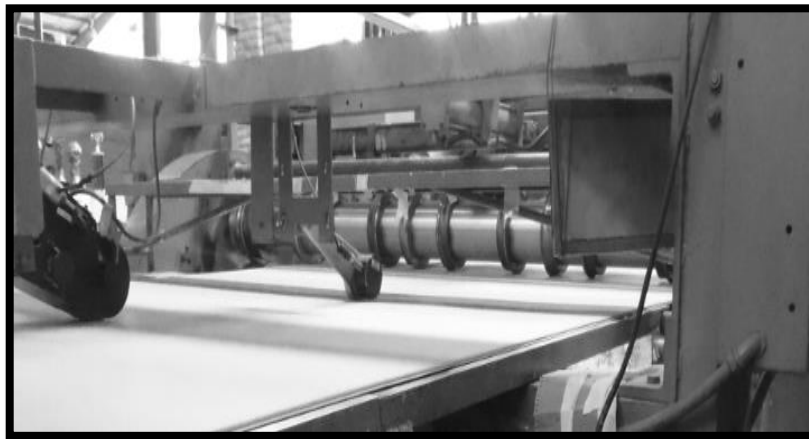
Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### **1.6.3.9. Cortadoras**

La cortadora o también llamada tríplex, es la encargada de realizar los cortes longitudinales a lo largo de la placa de cartón, los cortes son realizados a través de un rodillo rotativo colocado transversalmente respecto de lo largo de la placa de cartón y este rodillo gira en el sentido del desplazamiento de la placa.

Sobre la superficie del rodillo rotativo y perpendicular a la longitud se colocan las cuchillas circulares en forma de anillo que van cortando a lo largo de la longitud de la placa de cartón proveniente de la mesa de secado, estas cuchillas se encuentran colocadas a una distancia específica una de la otra según el ancho de la caja de cartón que el cliente requiera y es capaz de realizar dos cortes longitudinales de diferentes medidas para producir dos placas de cartón diferentes, ver figura 15, cortadora.

Figura 15. **Cortadora**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### **1.6.3.10. Stacker**

Este equipo se encarga de apilar las láminas que ya se encuentran cortadas, está conformado por una banda superior y una inferior, esta banda permite trasladar las láminas cortadas que provienen de la cortadora transversal y longitudinal, al final de cada una de estas bandas se encuentra un elevador el cual recibe y apila las láminas. La forma de apilar se realiza a través del

elevador, este consta de una camilla de rodillos que comienza a descender conforme recibe las láminas.

Cada cortadora en su salida posee una banda transportadora el cual dirige las placas de cartón con el ancho y largo necesario hacia el carro de transferencia. Ver figura 16 en la siguiente página, vista lateral de *stacker* superior e inferior lado operadora.

Figura 16. **Bandas superior e inferior del *stacker***



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### **1.6.3.11. Cocina de adhesivo**

Es el equipo encargado de realizar la mezcla que da como resultado la goma que se utiliza para adherir el pliego de cartón ondulado con los dos pliegos de cartón liso para formar una placa de cartón. Esta mezcla que se

realiza en este equipo es transferida hacia las engomadoras por medio de un equipo de bombeo neumático.

#### **1.6.3.12. Carro de transferencia**

Es utilizado para transferir el bulto de láminas de cartón que provienen del *stacker* hacia una tarima de madera, luego es llevado por un montacargas hacia el área de producto en proceso. Está compuesto por un conjunto de rodillos rotativos que son accionados por una cadena colocado en un extremo perpendicular a la longitud de estos, con el fin de trasladarles rotación y transferir las placas de cartón hacia la tarima, ver figura.

Figura 17. **Carro de transferencia**



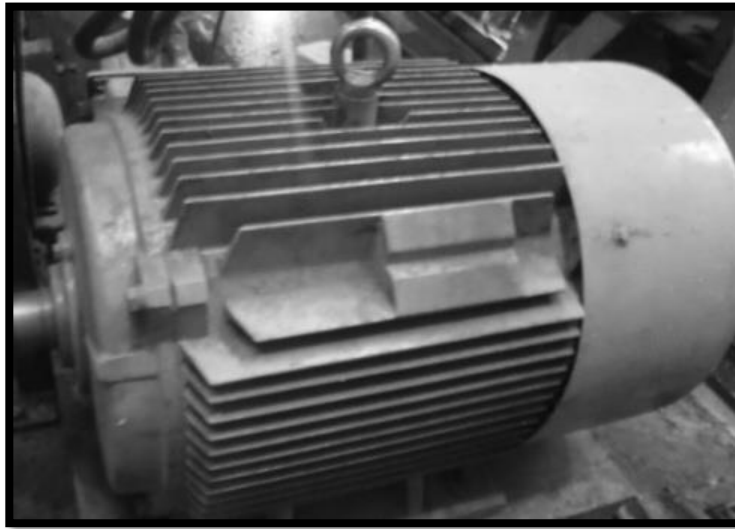
Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### **1.6.3.13. Motores**

Son los encargados de proporcionar movimiento a los distintos rodillos rotativos que se posee en la línea de corrugado, los motores de mayor potencia utilizados son de 75 HP y los de baja potencia comprenden un rango de 0,5 -

1 HP, durante el proceso de producción son utilizados motores de corriente directa y corriente alterna, ver figura 18, motor eléctrico principal de flauta corrugadora.

Figura 18. **Motor eléctrico de flauta corrugadora**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### **1.6.3.14. Variadores de motores**

Los variadores de motores son dispositivos eléctricos programables que hacen variar la velocidad de un motor en un rango determinado, existen distintos tipos de variadores de motores, pero debe utilizarse uno de acuerdo con las características que se posee del motor tales como: amperaje, fase de trabajo y voltios requeridos, esta información puede encontrarse en la placa del motor, ver figura 19.

Figura 19. **Variador de motor**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### **1.6.3.15. Cajas reductoras**

Estos equipos mecánicos están diseñados para reducir el número de revoluciones de un accionamiento en este caso un motor eléctrico, la relación de variación de revoluciones es de mayor a menor, existen dos tipos de cajas reductoras utilizadas en la línea de corrugado las cuales son: de ejes ortogonales y de ejes paralelos. Las relaciones más comunes de velocidad son las siguientes: 5:1, 7.5:1, 70:1, 50:1, 60:1, 15:1, 20:1, 25:1, 30:1 y 35:1.

Las cajas reductoras de ejes ortogonales cambian la dirección del eje de rotación en 90 grados y las cajas reductoras de ejes paralelos brindan un movimiento de rotación en el mismo sentido del eje de rotación del accionador, ver figura 20, caja reductora de un rodillo corrugador.

Figura 20. **Caja reductora**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### **1.6.3.16. Tableros eléctricos**

Es un centro de distribución de cargas y que alberga distintos componentes eléctricos tales como: contactores, variadores de frecuencia de motor, guarda motores y fusibles entre otros. Con el fin de proteger la integridad física de los trabajadores al ser expuestos a estos componentes eléctricos y realizar una correcta distribución de cargas hacia los equipos que se les suministra corriente eléctrica.

Se utiliza también para preservar el estado físico de los componentes mencionados con anterioridad, entre los requerimientos necesarios que debe poseer un tablero eléctrico se encuentran: solidez estructural, no poseer



deformación mecánica, propiedades aislantes y suficiente espacio para albergar los distintos dispositivos de protección y distribución de cargas.

#### **1.6.4. Tipos de cartones que se fabrican**

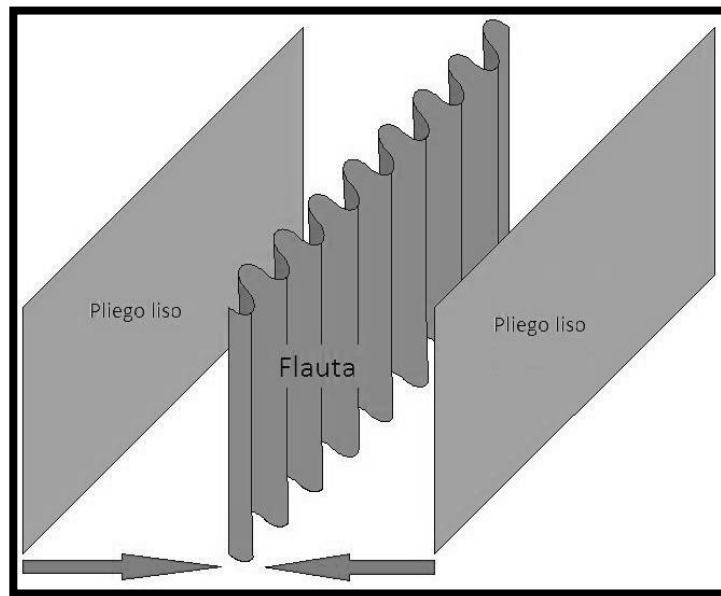
La línea de producción consta de tres equipos que forman el corrugado, siendo estas:

- *Singlefacer* flauta E: corrugado que consta de una altura de 1,57 mm en el ondulado medio, este corrugado también recibe el nombre de cartón microcorrugado, se utiliza en su mayoría para la fabricación de cajas de zapatos, relojería y artículos de bajo peso. Puede llegar a representar un dato menor al 10 % de la producción total de la línea de corrugado.
- *Singlefacer* flauta C: corrugado que consta de una altura de 3,60 mm en el ondulado medio, este corrugado se utiliza en la mayoría de las aplicaciones de transporte de paquetes medianos, tales como: cajas de utensilios de limpieza, repuestos mecánicos, transporte de galones de pintura, aderezos que no se encuentran en contacto directo con el empaque, empaque de bocinad y otros. Dependiendo de la temporada anual, este puede llegar a ocupar un 70 % de la producción dentro de la programación.
- *Singlefacer* flauta B: este corrugado consta de una altura de 2,46 mm en el ondulado medio se utiliza en su mayoría para cajas de pizza, pasteles, transporte de vegetales y helado.

El ondulado medio se clasifica de acuerdo con el número de ondulaciones por pie que se encuentra dentro de una placa de cartón, este ondulado también

recibe el nombre de flauta o corrugado medio. Existen los siguientes tipos: corrugado medio A, B, C, E, F, como también combinación tales como: CB, BE, CCB, ver figura 21, partes que conforman una placa de cartón.

Figura 21. **Partes de una placa de cartón**



Fuente: elaboración propia.

El número de ondulaciones proporciona elasticidad ante el problema de aplastamiento además de resistencia al impacto y el medio ambiente al cual es sometido, existen tres tamaños de ondulación empleados en la línea de corrugado, estos corrugados son los más comunes dentro del mercado guatemalteco, se clasifican así según la tabla número II, Altura de ondulación de acuerdo con el tipo de ondulado por fabricar.

Tabla II. **Altura de ondulación**

<b>Tipo de flauta</b>	<b>Altura de la ondulación en milímetros.</b>
Flauta E	1,57
Flauta B	2,46
Flauta C (común)	3,60

Fuente: elaboración propia.



## **2. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

### **2.1. Delimitación del área de estudio**

El área de estudio se delimita hacia aquellos equipos que conforman la línea de corrugado.

### **2.2. Metodología estadística**

Como metodología estadística para recabar la información necesaria concerniente al estado actual de los distintos equipos que conforman la línea de corrugado se tienen los siguientes:

- Encuesta: método estadístico que representa un conjunto de preguntas previamente analizadas dirigidas a una muestra de la población por analizar, con el fin de recabar la información de interés que cubra el propósito de la investigación. Para obtener una información concreta del estado en que se encuentra la línea de corrugado se procede a realizar la siguiente encuesta dirigida hacia el supervisor de mantenimiento y electromecánicos de planta.
- Esta encuesta se diseñó según las averías frecuentes que afrontaba la línea de corrugado, estas averías fueron proporcionadas por el encargado de mantenimiento de la empresa Sirio. Ver figura 22 en la siguiente página, encuesta realizada para determinar las principales fallas dentro de la línea de producción en análisis.

Figura 22. Encuesta realizada para determinar las principales fallas

Marque con una "X" la respuesta que considere correcta	Respuesta	Repuesta	Falla por causa de:
Los porta-bobinas fallan comúnmente por falta de inspección en sus componentes	<i>Si porqué</i>	<i>No porqué</i>	
Los pre-calentadores fallan por la falta de revisión del sistema de vapor	<i>Si porqué</i>	<i>No porqué</i>	
Los corrugadores "flautas" fallan comúnmente por la falta de lubricación en sus componentes.	<i>Si porqué</i>	<i>No porqué</i>	
Los corrugadores "flautas" fallan comúnmente por la falta de revisión en el sistema de suministro de vapor.	<i>Si porqué</i>	<i>No porqué</i>	
Los corrugadores "flautas" fallan comúnmente por la falta de paralelismo entre sus distintos rodillos corrugadores.	<i>Si porqué</i>	<i>No porqué</i>	
Los motores de la línea de corrugado fallan comúnmente por exceso de calor que se registra en su interior.	<i>Si porqué</i>	<i>No porqué</i>	
Las empalmadoras fallan comúnmente por la falta de lubricación en sus distintos componentes.	<i>Si porqué</i>	<i>No porqué</i>	
En los engomadores la falla que se registra con mayor frecuencia se debe la falta de mantenimiento en el suministro de vapor y condensado.	<i>Si porqué</i>	<i>No porqué</i>	
En la mesa de secado comúnmente fallan las planchas de calefacción.	<i>Si porqué</i>	<i>No porqué</i>	
En los elevadores la falla que se registra comúnmente se debe al sistema neumático.	<i>Si porqué</i>	<i>No porqué</i>	

Fuente: elaboración propia.

Como sugerencia para recabar información por parte del supervisor de mantenimiento sería ideal eliminar la columna de falla por causa de, debido a que no se cuenta con el tiempo necesario para que cada electromecánico llene cada espacio en blanco. Y en lugar de un cuestionario sería ideal realizar un *checklist* debido a la facilidad y tiempo de llenado.

- Entrevista directa: a través de este método pretendemos obtener información en forma verbal e instantánea del estado físico de los siguientes equipos: banda de tracción, cortadoras, *stacker*, cocina de adhesivo, carro de transferencia, cajas reductoras, variadores de motores, tableros eléctricos, cajas de conexión. Realizando preguntas a los operarios y electromecánicos encargados de la línea de corrugado sobre las fallas más comunes presentadas.
- Observación directa: este método se utiliza como medida para corroborar o aumentar la información proporcionada por la fuente y determinar si existe o no discrepancia entre lo visto y los datos proporcionados por electromecánicos.

### **2.3. Proceso de corrugado**

El proceso actual del corrugado comienza cuando el montacargas traslada la bobina desde el área de bobinas, las bobinas son fabricadas por una empresa ubicada en Costa Rica, estas bobinas son trasladadas hacia Guatemala por vía terrestre utilizando como medio transporte tráileres y contenedores. La línea de corrugado actualmente está conformada por los siguientes equipos: nueve portas bobinas, tres precalentadores, tres flautas corrugadoras, tres empalmadoras, una engomadora doble, mesa de secado, cortadora tríplex, *stacker* y carro de transferencia.

Los equipos que conforman la línea de corrugado se encuentran instalados en el siguiente orden: porta bobinas 1, porta bobinas 2, precalentador 1, flauta E, flauta B, precalentador 2, porta bobinas 3, empalmadora 1, porta bobinas 4, porta bobinas 5, empalmadora 2, precalentador 3, flauta C, porta bobinas 6, porta bobinas 7, empalmadora 3, porta bobinas 8, porta bobinas 9,

triple precalentador, doble engomadora, mesa de secado, cortadora tríplex, *stackery* carro de transferencia.

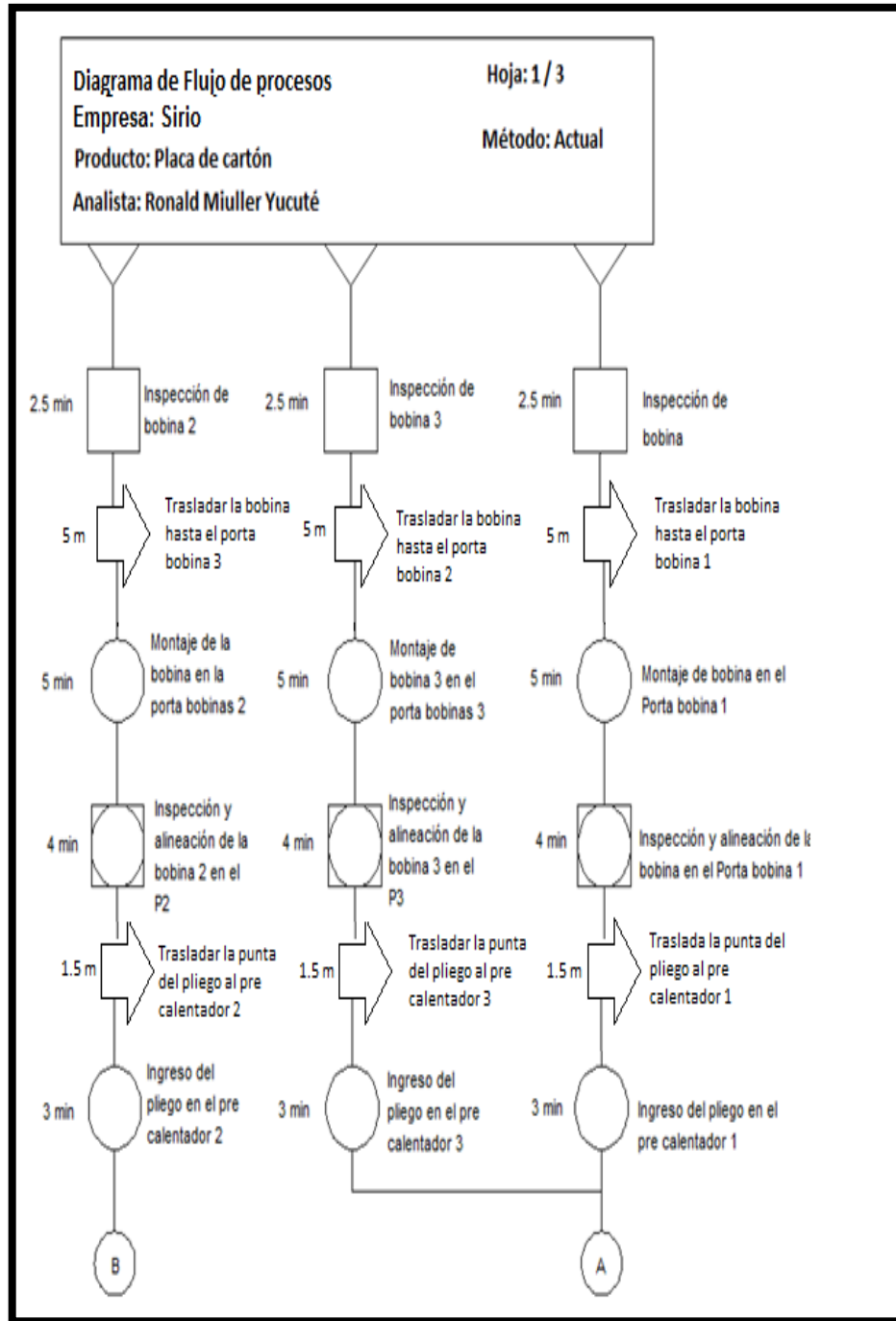
Para realizar el proceso de corrugado los equipos se clasifican en tres formas distintas, las cuales son:

- Proceso 1: realizar un ondulado tipo E, porta bobinas 1, 2 y 3, precalentador 1, empalmadora 1,2 y 3, engomadora, mesa de secado, cortadora tríplex, *stacker* y carro de transferencia.
- Proceso 2: realizar un ondulado tipo B, porta bobinas 4, 5 y 6, precalentador 2, empalmadora 2 y 3, engomadora, mesa de secado, cortadora tríplex, *stacker* y carro de transferencia.
- Proceso 3: realizar un ondulado tipo C, porta bobinas 7, 8 y 9, precalentador 3, empalmadora 3, engomadora, mesa de secado, cortadora tríplex, *stackery* carro de transferencia.

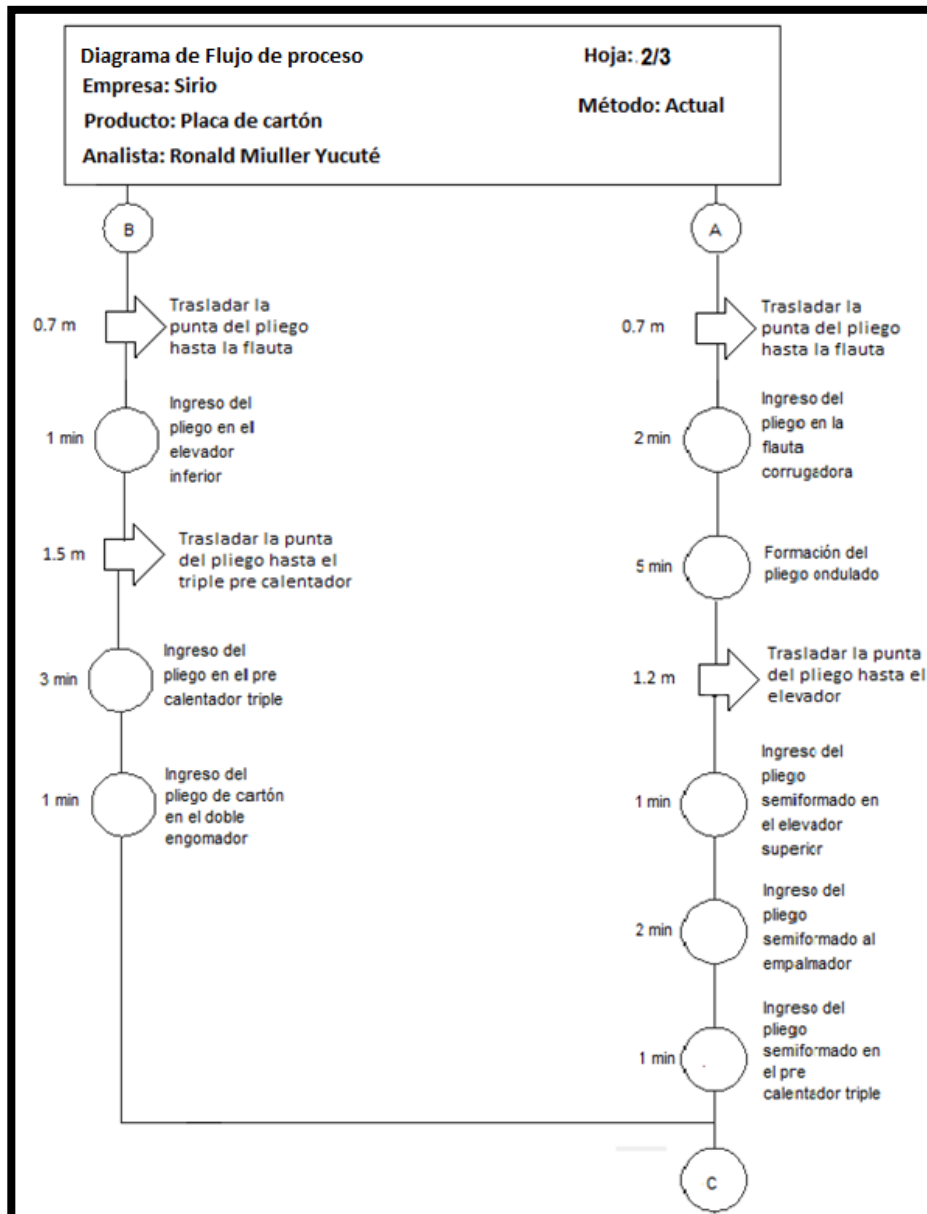
Se puede visualizar el diagrama de flujo de proceso, esto para llevar una secuencia de la producción que depende de la forma de ondulado requerido. Ver figura 23, diagrama de procesos de la línea de corrugado.



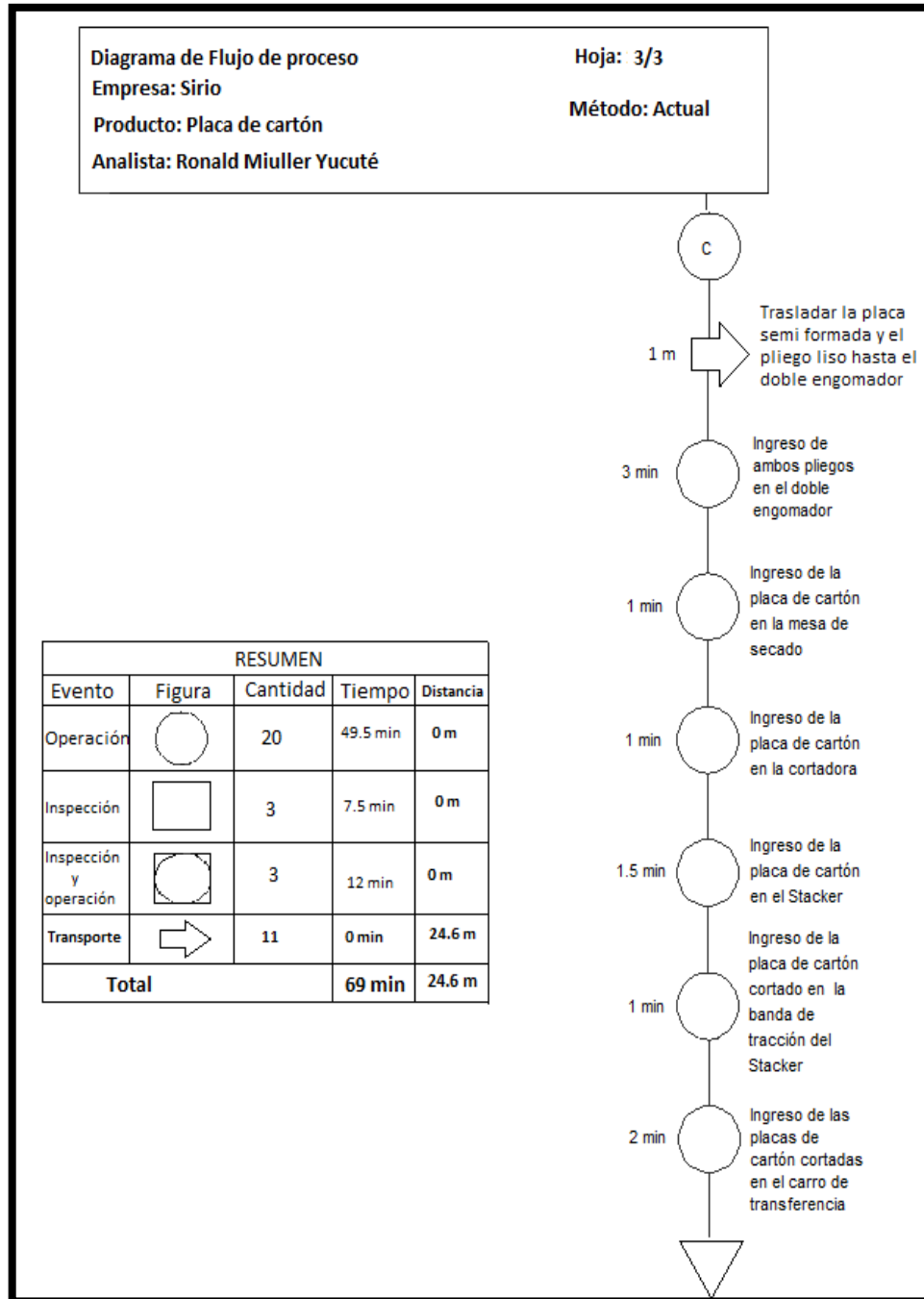
Figura 23. Diagrama de flujo de procesos de la línea de corrugado



Continuación de la figura 23.



Continuación de la figura 23.



### **2.3.1. Estado actual de mantenimiento**

Actualmente dentro la planta se realiza mantenimiento preventivo a un nivel muy bajo, mantenimiento predictivo a un nivel básico y en la mayoría de las intervenciones por parte de los electromecánicos se realiza mantenimiento correctivo.

Como medida de prevención del desgaste en los rodamientos se utilizan distintos tipos de grasas y aceites para realizar el mantenimiento preventivo entre las cuales se encuentran: Grasa EP 2, Aceite Tellus 68, Aceite Omala 220 y Grasa nyecorr 140.

#### **2.3.1.1. Mantenimiento mecánico**

Son intervenciones realizadas en el equipo por electromecánicos con el fin de reparar la avería presentada en está, por concepto de piezas defectuosas, revisión del estado físico del equipo, lubricación con grasa y aceite.

Para realizar la planificación y ejecución del mantenimiento preventivo se utiliza un software, el cual se planifica anualmente y a través de este puede visualizarse el mantenimiento y la ejecución que se le debe proveer a cada equipo en forma diaria, semanal, mensual, anual y el tipo de lubricante que corresponde a cada equipo, en sus diferentes partes. Actualmente se posee el siguiente mantenimiento preventivo para los equipos que conforman la línea de corrugado.

### **2.3.1.1.1. Porta bobinas**

Como medida para lubricar se utiliza Grasa EP 2 y Aceite Omala 220 y:

- Engrase de cojinetes del tornillo sin fin
- Engrase de cojinetes de bolas
- Engrase de rosca del tornillo sin fin
- Engrase del cilindro guía, lado operador y lado motor
- Remover cubierta frontal y aceitar las cadenas
- Engrase del eje pivote de cilindros hidráulicos
- Engrase de cojinetes de tambores de frenos
- Engrase de cojinetes de ruedas de porta bobina

### **2.3.1.1.2. Precalentadores**

Para los precalentadores se utiliza Grasa EP 2 y Aceite Omala 220

- Precalentador 1
  - Engrase de cojinetes del rodillo fijo de envoltura
  - Engrasar cojinetes del rodillo movable
  - Engrasar engranes de envoltura del rodillo movable
  - Engrasar eje de engranes de rodillo movable
  - Engrasar cojinetes del tambor
  - Rellenar hasta el nivel de aceite máximo en el motor reductor
  
- Precalentador2
  - Engrasar cojinetes del rodillo fijo de envoltura

- Engrasar cojinetes del rodillo movable
  - Engrasar engranes de envoltura de rodillo movable
  - Engrasar eje de engranes de rodillo movable
  - Engrasar cojinetes del tambor
- Triple precalentador
    - Rellenar hasta el nivel máximo de aceite en los motores reductores superior e inferior de arropamiento.
    - Engrasar eje principal de precalentador superior lado motor.
    - Engrasar eje principal de precalentador inferior lado motor.
    - Engrasar engranes de precalentador superior lado motor.
    - Engrasar engranes de precalentador inferior lado motor.
    - Engrasar eje principal de precalentador intermedio lado motor.
    - Engrasar engranes de precalentador intermedio lado motor.
    - Rellenar hasta el nivel máximo de aceite en el motor reductor intermedio de arropamiento.

### **2.3.1.1.3. Flautas**

Para realizar la rutina de lubricación de las flautas corrugadoras se utiliza Grasa EP 2, Grasa nyecorr 140 y aceite Omala 220.

- Corrugador flauta C
  - Engrasar acoplamiento hidráulico de la tolva.
  - Engrasar marco de la bandeja de goma.
  - Engrasar brazos y soportes de la bandeja de goma.

- Engrasar engranes de sistema de transmisiones lado motor de la máquina.
  - Engrasar motor principal del corrugador.
  - Engrasar motor del rodillo de goma.
  - Engrasar caja de engranes excéntricos, donde está la excéntrica del rodillo de presión.
  - Engrasar cojinetes del rodillo de presión.
  - Engrasar cojinetes del precalentador de entrada.
  - Engrasar pines del brazo de ajuste del rodillo corrugador superior, donde va el *médium*.
  - Engrasar cojinetes del rodillo de soporte del *médium*
  - Engrasar pernos del limpiador de goma.
  - Engrasar brazos tensores de la bandeja de pegamento.
  - Engrasar rueda de gusano de desalojamiento de la tolva.
  - Engrasar cojinetes del rodillo engomadora.
  - Inspección de conductos de lubricación de la bomba lubricadora.
  - Rellenar hasta el nivel máximo de aceite de la caja reductora del motor del rodillo engomadora.
  - Rellenar hasta el nivel máximo de aceite de la caja reductora del motor del rodillo corrugador inferior.
- Corrugador de flauta B y E
    - Engrasar acoplamiento hidráulico de la tolva.
    - Engrasar marco de la bandeja de goma.
    - Engrasar brazos y soportes de la bandeja de goma.
    - Engrasar engranes de sistema de transmisiones lado motor de la máquina.
    - Engrasar motor principal del corrugador.

- Engrasar motor del rodillo de goma.
- Engrasar caja de engranes excéntricos, donde está la excéntrica del rodillo de presión.
- Engrasar cojinetes del rodillo de presión.
- Engrasar cojinetes del precalentador de entrada.
- Engrasar pines del brazo de ajuste del rodillo corrugador superior, donde va el *médium*.
- Engrasar cojinetes del rodillo de soporte del *médium*
- Engrasar pernos del limpiador de goma.
- Engrasar brazos tensores de la bandeja de pegamento.
- Engrasar rueda de gusano de desalojamiento de la tolva.
- Engrasar cojinetes del rodillo engomadora.
- Inspección de conductos de lubricación de la bomba lubricadora.
- Rellenar hasta el nivel máximo de aceite del depósito de lubricante de la máquina.
- Rellenar hasta el nivel máximo de aceite de la caja reductora del motor del rodillo engomadora.
- Rellenar hasta el nivel máximo de aceite de la caja reductor del motor del rodillo corrugador inferior.

#### **2.3.1.1.4. Empalmadoras**

Se utiliza Grasa EP 2 para lubricar los siguientes rodamientos.

- Lubricación de los rodamientos de rodillos
  - Rodillo inferior entrada empalmadora médium
  - Rodillo superior entrada empalmadora médium
  - Rodillo enhebrador de papel empalmadora médium de entrada



- Rodillo enhebrador de papel empalmadora médium salida
- Rodillo jalador principal empalmadora médium

#### **2.3.1.1.5. Elevadores**

Para realizar la lubricación de los rodamientos se utiliza Grasa EP 2 y aceite Omala 220.

- Engrasar chumaceras de barra porta banda de freno superior
- Engrasar chumaceras de barra porta banda de freno inferior
- Engrasar tornillo sin fin de la guía superior
- Engrasar tornillo sin fin de la guía inferior
- Rellenar hasta el nivel máximo de aceite del motorreductor superior
- Rellenar hasta el nivel máximo de aceite del motorreductor inferior
- Engrasar chumaceras de rodillos de entrada superior
- Engrasar chumaceras de rodillos de entrada inferior

#### **2.3.1.1.6. Engomadoras**

Para realizar la lubricación de los equipos engomadoras se utiliza Grasa EP-2.

- Engomadora simple
  - Engrasar marco de la bandeja de goma.
  - Engrasar brazos y soportes de la bandeja de goma.
  - Engrasar engranes de sistema de transmisiones lado motor de la máquina.
  - Engrasar motor principal de suministro de potencia.

- Limpieza general de la superficie del rodillo engomadora, removiendo los residuos de goma.
- Doble engomadora
  - Lubricación de los cojinetes del rodillo engomadora
  - Lubricación de los cojinetes del rodillo dosificador
  - Rellenar hasta el nivel máximo de aceite del motor reductor
  - Vaso de lubricación del sistema neumático
  - Lubricación de los cojinetes de bomba de retorno de goma

#### **2.3.1.1.7. Mesa de secado**

Para lubricar los distintos rodamientos se utiliza Grasa EP 2 y aceite Omala 220.

- Revisión del sistema neumático.
- Medición de vapor.
- Análisis de vibración.
- Limpieza general.
- Aceitar la cadena de transmisión del mecanismo de levantado de la banda.
- Engrase de los rodamientos de todos los rodillos de presión.
- Engrase de cojinetes de engranes encerrados de los rodillos grandes de transmisión, lado operador.
- Engrase de engranes encerrados, lado motor.
- Vaso de lubricación de aire comprimido.
- Rellenar hasta el nivel máximo de aceite de la caja reductora.

#### **2.3.1.1.8. Banda de tracción**

Se utiliza Grasa EP 2 para lubricar los distintos rodamientos.

- La revisión del estado físico del sistema de la banda de tracción detectará
  - Estado de tensión de la banda
  - Lubricación de los rodillos tensores
  - Degradación superficial
  - Falla en el engrapado
  - Residuos de goma
  - Fugas en el retorno de condensado
  - Fugas en el suministro de vapor
  - Vejigas en mal estado

#### **2.3.1.1.9. Cortadoras**

Se utiliza Grasa EP 2 para los rodamientos y aceite Omala 220 para lubricar las cajas reductoras.

- Engrase de cada lado de la cortadora (en cada lado hay 12 graseras).
- Rellenar hasta el nivel máximo de aceite de los motores reductores.
- Rellenar hasta el nivel máximo de aceite de cajas de engranes (ambos lados de la cortadora).
- Rellenar hasta el nivel máximo de aceite en el vaso lubricador neumático.

### 2.3.1.1.10.     **Stacker**

Se utiliza Grasa EP 2, Aceite Omala 220 y Aceite Tellus 68 para lubricar los distintos componentes del *stacker*.

- Engrase de rodamientos del rodillo jalador inferior de entrada superior.
- Aceitar cadenas de la banda superior.
- Aceitar la caja reductora de la banda superior.
- Engrasar el rodamiento del rodillo de la banda superior.
- Engrasar rodamientos de los rodillos jaladores de salida banda superior.
- Engrasar los rodamientos de los rodillos laterales de salida *stacker* superior.
- Aceitar cadenas de transmisión rodillos laterales *stacker* superior.
- Aceitar cadenas de cilindros subir-bajar estibas *stacker* superior.
- Rellenar hasta el nivel superior del tanque de aceite hidráulico del *stacker* superior.
- Engrasar rodamientos del rodillo jalador inferior de entrada.
- Aceitar cadenas de la banda inferior.
- Aceitar la caja reductora del motor de la banda inferior.
- Engrasar rodamientos de rodillos banda inferior.
- Engrasar rodamientos de rodillos laterales de salida *stacker* inferior.
- Aceitar cadenas de transmisión de rodillos laterales *stacker* inferior.
- Aceitar cadenas del cilindro que sube y baja las estibas del *stacker* inferior.
- Rellenar hasta el nivel superior del tanque de aceite hidráulico del *stacker* inferior.

#### **2.3.1.1.11. Cocina de adhesivo**

Utilizar Grasa EP 2 para lubricar los rodamientos del motor y Aceite Omala 220 para aceitar las cadenas.

- Lubricación de los rodamientos de los motores encargados de generar el movimiento.
- Aceitar las cadenas de esta área.

#### **2.3.1.1.12. Carro de transferencia**

Se utiliza Grasa EP 2 para lubricar los rodamientos que conforman el carro de transferencia.

- Limpieza de los rodillos que la conforman
- Engrasar los rodamientos de todos los rodillos
- Aceitar la cadena que se encuentra ubicada en el extremo de este

#### **2.3.1.1.13. Cajas reductoras**

Utilizar Aceite Omala 220 para rellenar el tanque contenedor de aceite hasta el nivel máximo.

- Rellenar la caja de aceite hasta el nivel máximo.
- Inspección del estado físico de los engranes que conforman el mecanismo destapando la caja reductora.

### **2.3.1.2. Mantenimiento eléctrico**

Son intervenciones realizadas en el equipo por electromecánicos con el fin de reparar la avería presentada en está, por concepto de piezas eléctricas defectuosas o revisión del estado eléctrico del equipo.

Dentro del mantenimiento correctivo eléctrico, se encuentra la sustitución de los siguientes componentes eléctricos defectuosos: relés, resistencias variables también llamados potenciómetros, variadores de frecuencia de motores y motores eléctricos.

Para realizar la medición de la vibración se utiliza un lápiz medidor de vibraciones, el cual se coloca en forma horizontal, vertical y axial a la chumacera o sujetador del rodamiento. La unidad de medida de la vibración se encuentra en mm/s y el rango de medición de la lectura depende del equipo por evaluar.

#### **2.3.1.2.1. Motores**

Equipo por utilizar: lápiz medidor de vibración, multímetro digital y grasera.  
El procedimiento incluirá:

- Medición de vibración
- *Megger* del motor
- Amperaje de la placa
- Lubricación de los rodamientos del rotor

#### **2.3.1.2.2. Variadores de motores**

Son dispositivos eléctricos que permiten la manipulación de las revoluciones un motor eléctrico, existen variadores que trabajan con corriente continua y variadores que trabajan con corriente directa. En los variadores de corriente continua se hace variar la tensión de suministro y en los variadores de corriente directa se varía la frecuencia de oscilación.

- Inspección y ajuste de las borneras
- Abrir la caja de conexiones y aspirar el polvo con una aspiradora
- Revisión de cables dañados
- Revisión de falsos contactos entre los cables y conectores
- Limpieza superficial del equipo en caso de que todo se encuentre bien

#### **2.3.1.2.3. Tableros eléctricos principales**

Revisión, limpieza y ajuste de conexión de elementos eléctricos en panel de control y fuerza (variadores, guarda motores y contactores), ordenamiento de cables, limpieza de interior con aspiradora, apriete de todos los cables en sus respectivas borneras que incluye: revisión de variadores que puedan existir.

#### **2.3.1.2.4. Cajas de conexión**

Equipo por utilizar: multímetro digital.

- Revisión del estado físico de los bornes.
- Determinar falsos contactos y verificar si existe corrosión dentro de la caja.

Mantenimiento del proceso productivo:

Para garantizar un proceso productivo estable es necesario la intervención del operador, mantenimiento las presiones y calibraciones que se requieran dentro de la operación, adicional es necesario el cuidado de los distintos equipos y herramientas que conforman la línea de producción.

Adicional a esta intervención por parte del operador es necesario iniciar con el proyecto de mejora del mantenimiento predictivo, esto para garantizar la confiabilidad en el proceso.

### **2.3.1.3. Indicadores del fabricante**

La mayoría de los equipos que conforman la línea de corrugado fueron fabricados entre 1975 y 1985, en la actualidad se ha sustituido la grasa y el aceite propuesto por el fabricante de cada equipo debido al mejoramiento continuo de las propiedades y características de trabajo de los lubricantes existentes en el mercado. En proyecto se contempla la instalación de una línea nueva de cartón corrugado en un plazo de 5 años.

#### **2.3.1.3.1. Comparación y resultados**

Las rutinas actuales están basadas en la lubricación de partes rasantes que se encuentran propensas a mayor desgaste según los manuales del fabricante.



#### **2.3.1.4. Parámetros actuales**

- Actualmente se utiliza los siguientes lubricantes para el sistema de lubricación.
- Grasa ep-2: esta grasa cubre un amplio rango de rodamientos entre los cuales están; de aguja, de rodillo, ruedas y bolas. Esta grasa puede ser expuesta y sometido a condiciones extremas de operación como vibración forzada, altas temperaturas y ambiente externo extremo.

Entre las propiedades que posee se encuentra: resistencia a la degradación térmica, protección para impedir la corrosión superficial del rodamiento, comportamiento antidesgaste, soporta altas cargas.

- Aceite Omala 220: se utiliza para lubricar superficies donde no sobre pase los 70 °C, entre las principales características que posee se encuentran: capacidad anti-desgaste, producto exento de plomo, muy buena estabilidad térmica y sobre todo estabiliza la oxidación y el envejecimiento de la pieza por lubricar.
- Aceite tellus 68: como principal ventaja ofrece excelente estabilidad en presencia de humedad, soporta altas temperaturas hasta un punto de inflamación de 252 °C y ayuda a prevenir la formación de depósitos dañinos que puedan dañar el sistema hidráulico.
- Nycorr 140: se utiliza para lubricar rodamientos de anillos con el objetivo de reducir el desgaste, posee una baja evaporación para el sistema de precalentamiento y una alta viscosidad.

### **2.3.1.5. Equipos en estados físicamente críticos**

Los equipos que conllevan una mayor intervención por concepto de mantenimiento en la línea de corrugado son los siguientes: flautas C, flauta E y flauta B. Presentando fallas en los elementos rodantes que la componen, en el sistema de vapor y sistema de aire comprimido.

#### **2.3.1.5.1. Proceso productivo**

Los equipos que se encuentran en estado físicamente críticos son aquellos con mayores años de vida útil, siendo los siguientes: tríplex, cortadoras, mesa de secado y engomadoras.

## **2.4. Ficha histórica de mantenimiento**

Representa las intervenciones realizadas por los electromecánicos en los equipos y en ella se detalla el tipo, tiempo de intervención y repuestos utilizados.

### **2.4.1. Mantenimiento mecánico en la línea de corrugado**

Tiempos de intervenciones realizadas por electromecánicos en la línea de corrugado por averías mecánicas. Ver tabla llen la siguiente página, ficha histórica de paro por mantenimiento mecánico.

Tabla III. **Ficha histórica de horas de paro por mantenimiento mecánico**

AÑO	HORAS DE PAROS MECÁNICOS
2010	372,2 horas
2011	377,7 horas
2012	247 horas
2013	177,6 horas
2014	188,3 horas
2015 a julio	135,3 horas

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

#### **2.4.2. Mantenimiento eléctrico en la línea de corrugado**

Tiempos de intervenciones realizadas por electromecánicos en la línea de corrugado por averías eléctricas.

Tabla IV. **Ficha histórica de horas de paro por mantenimiento eléctrico**

AÑO	HORAS PAROS ELÉCTRICOS
2010	71,3
2011	124,5
2012	110,9
2013	107,6
2014	112,6
2015 a julio	68

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

## **2.5. Tipos de mantenimientos actualmente empleados**

Actualmente se emplean tres tipos de mantenimiento con el objetivo de reducir los paros de la línea de corrugado por intervenciones de mantenimiento. Los tipos de mantenimiento utilizados son: preventivo, predictivo y correctivo.

Con el presente trabajo de investigación se pretende ampliar el sistema de mantenimiento preventivo debido a que únicamente se limita a la lubricación de los distintos rodamientos que se posee en la línea de corrugado, utilizando el sistema preventivo mejorado como base para desarrollar un plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM), con el fin de mejorar el sistema de mantenimiento predictivo actual.

### **2.5.1. Mantenimiento predictivo**

Utiliza el análisis estadístico del primer semestre de cada año para determinar la secuencia de fallo del segundo semestre del año en análisis. El mantenimiento predictivo actualmente empleado se basa únicamente en el análisis de vibración, lectura de amperímetro y toma de temperaturas, en los distintos equipos que conforman la línea de corrugado.

### **2.5.2. Mantenimiento preventivo**

No se utiliza en la mayoría de las oportunidades, únicamente es limitado al servicio de lubricación de los distintos rodamientos que conforman el proceso de producción. Se utiliza en la lubricación de los rodamientos de los 370 rodillos que conforman la línea de corrugado.

### **2.5.3. Mantenimiento correctivo**

Utilizado en la mayoría de las ocasiones, esto se debe a que no se tiene un sistema de mantenimiento preventivo completo, las principales fallas son: fallo en los cojinetes, rotura de rodillos, falla en motores por el uso continuo, desgaste superficial de rodillos ondulados. Por lo que se acude al mantenimiento correctivo para cambiar los distintos componentes defectuosos.

### **2.6. Control de calidad en la línea de corrugado**

Compara características mensurables requeridas por la norma de calidad preestablecida y las que la placa de cartón posee, bajo un rango de error establecido en el cual es aceptado. Las personas encargadas de la calidad utilizan diversos factores para determinar si una placa de cartón cumple o no con la calidad requerida, a continuación, se describe un ejemplo:

- Verificación de la uniformidad del ondulado a lo largo de la placa de cartón.
- Test de calibración de la placa de cartón, para esto se utiliza un aparato medidor llamado micrómetro, para determinar el espesor de las placas de cartón de acuerdo con el tipo de flauta fabricado. Ver tabla V en la siguiente página, altura de ondulado interno de una placa de cartón.

Tabla V. **Altura de ondulado.**

Tipo de flauta	Altura de la ondulación en milímetros.
Flauta E	6,95 aprox.
Flauta B	2,46 aprox.
Flauta C (común)	4,46 aprox.

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

- Dimensiones de la placa de cartón, se utiliza para este caso un metro, determinando el ancho y el largo de la placa con un margen de error de  $\pm 2$  mm en cada caso.

Las placas de cartón con la calidad requerida siguen los siguientes criterios:

- No debe poseer curvatura alguna lo que indica que debe ser lo más plano posible.
- Los pliegos exteriores que conforman la placa de cartón deben de ir bien pegadas al pliego ondulado.
- Eliminación de láminas tostadas, por el exceso de calentamiento de las placas de calefacción de la mesa de secado.
- Eliminación de láminas con exceso de humedad, la placa de cartón no debe ir aguada.

Se toma al azar una placa de cartón del lote producido por la flauta utilizada y se somete a la numeración anterior, si llegara a existir un aspecto

anterior se desperdicia el lote completo debido a que la ondulación y pegado es producido por rodillos rotativos generando el fallo cíclicamente. Este lote rechazado es tomado como producto reciclable.

### **2.6.1. Normas de calidad empleadas**

Actualmente la planta posee la norma ISO 9001:2008 como ventaja competitiva, esta norma establece los criterios para un sistema de gestión de la calidad.

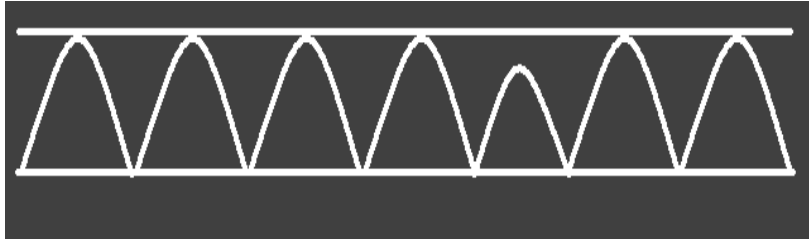
La norma ISO 9001: 2008 indica un sistema de gestión de calidad eficiente, con el fin de que todos los elementos de administración de calidad con los que actualmente cuenta sean efectivos, logrando con esto administrar y mejorar continuamente la calidad en los productos que fabrica. Se fabrican diferentes tipos de cajas de cartón corrugado dependiendo de las exigencias que los clientes requieran tales como: tamaño, diseño y resistencia.

### **2.6.2. Sistema actual de control de calidad**

Los criterios utilizados para descartar un producto defectuoso se basan en las siguientes figuras:

En la figura 24 puede observarse como existe una ondulación menor a las demás, indicando que una ondulación del rodillo ondulado ubicado en la flauta utilizada se encuentra en mal estado, generando la misma falla en cada rotación que realice este rodillo. Ver figura 24, ondulaciones altas y baja.

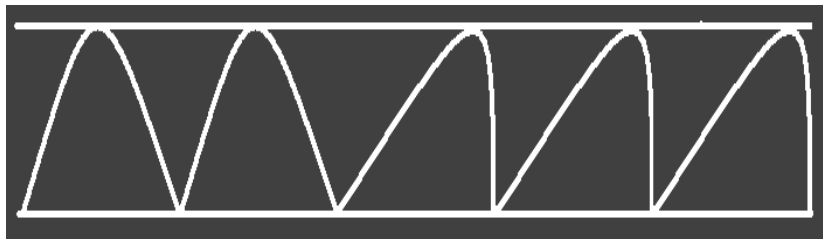
Figura 24. **Ondulaciones altas y baja**



Fuente: elaboración propia.

La figura 25, muestra como la ondulación posee un ángulo, esta ondulación inclinada puede ser por exceso de presión presentada en los rodillos de presión.

Figura 25. **Ondulaciones inclinadas**

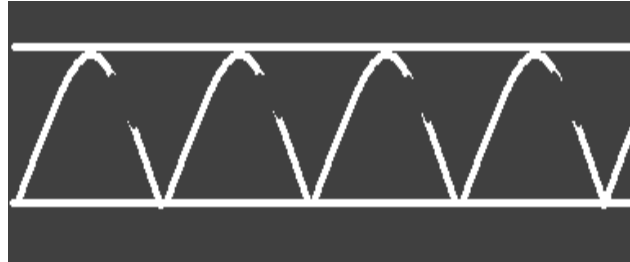


Fuente: elaboración propia.

La figura 26, indica un corte del ondulado, el ondulado no se encuentra completo, posible falla de calibración de los rodillos ondulados superior e inferior de la flauta corrugadora utilizada.



Figura 26. **Ondulado fracturado o incompleto**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27, muestra como el espesor de la placa de cartón posee un espesor uniforme a lo largo de la placa.

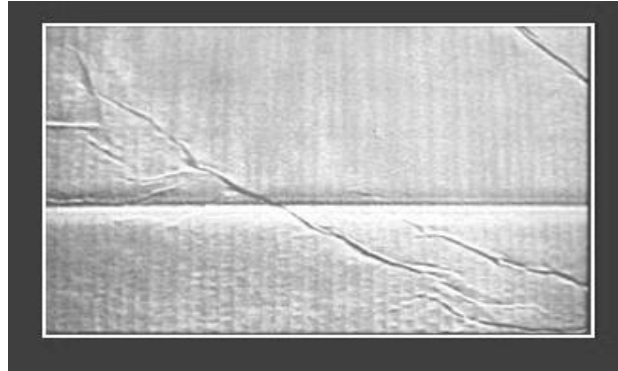
Figura 27. **Altura del ondulado**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 28 puede observarse como la superficie de la placa de cartón se encuentra doblada y arrugada, debido al mal manejo que se le dio en el carro de transferencia.

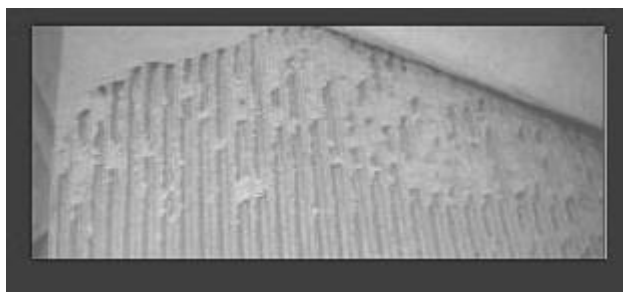
Figura 28. **Superficie de la placa de cartón arrugado**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

Se puede observar en la figura 29 un fallo en la orilla de la placa de cartón, esta pudo haberse originado por la mala alineación en la mesa de secado, o cortadora, debido a que ya se encontraba pegado.

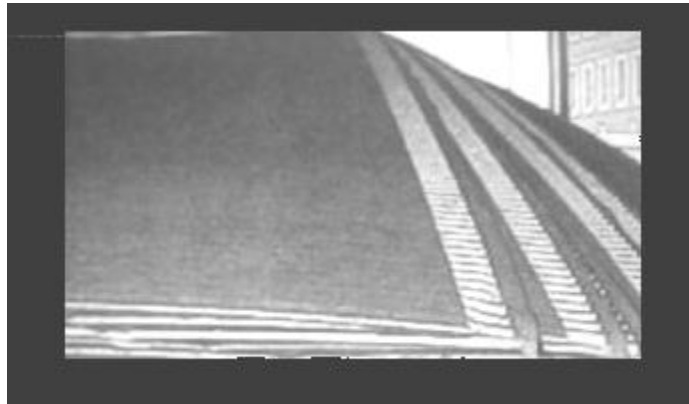
Figura 29. **Orillas de la placa de cartón dañado**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala

En la figura 30, se puede observar una mala alineación entre el pliego ondulado y el pliego liso, reduciendo las medidas de la placa de cartón después de cortarse el área desalineada.

Figura 30. **Pliego liso desalineado respecto del ondulado**



Fuente: elaboración propia, con Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

### **2.6.3. Problemas y/o quejas que se detectan actualmente**

Los principales problemas que se detectan actualmente es la falla en elementos tales como: cojinetes, ejes rotativos, variadores de motores, motores eléctricos y la mala operación de los equipos por parte de los operarios.

### **2.7. Análisis del programa actual de capacitación de electromecánicos**

El programa actual de capacitación provee una información básica hacia los electromecánicos de la correcta instalación de los cojinetes, motores eléctricos y ergonomía. Con el objetivo de que los electromecánicos realicen el correcto montaje, mantenimiento preventivo de cada equipo descrito anteriormente y además de la utilización correcta de la remuneración monetaria que reciben por su trabajo.

El programa de capacitación de cojinetes se basa en el montaje y desmontaje correcto, además de indicarles los daños que conlleva una mala instalación de estos rodamientos y el tiempo que repercute el cambio de este debido a la mala instalación.

En la capacitación de motores eléctricos se les indica la temperatura máxima de operación de los distintos motores que conforman la línea de corrugado, además de la correcta alineación y montaje sobre la base de este para evitar daños físicos del equipo y de las personas. Se les provee información de la correcta instalación eléctrica que conlleva el montaje de un motor de corriente continua y un motor de corriente directa.

En el programa de capacitación de ergonomía se les advierte de los daños físicos que conlleva la incorrecta manipulación de cargas, además de las formas correctas de manipulación de distintos objetos y el peso correcto que se puede soportar según la edad y corpulencia de cada persona.

## **2.8. Determinar una mejora del programa de capacitación**

Como mejora del programa de capacitación es preferible indicarles a los electromecánicos el costo que conlleva la realización del mal montaje de los elementos que conforman el equipo, para hacer conciencia de los costos que implican sus acciones. Además de los valores morales que implica realizar un trabajo sin olvidar el más importante de ellos, el costo que conlleva el tiempo parado de producción. Actualmente existe un programa periódico trimestral, donde indican las horas de paro por mantenimiento correctivo tanto mecánico como eléctrico.

Esta mejora de los programas de capacitación se establecerá con más detalles en el capítulo 4 de este trabajo de investigación.

## 2.9. Confiabilidad de los equipos que conforman la mejora

En la tabla VI. Se puede observar las horas de paro imprevisto de la línea de corrugado por mes, por concepto de mantenimiento correctivo, el porcentaje representa las horas tomadas para realizar el mantenimiento correctivo y que eran destinadas para producción.

Tabla VI. **Paros por mantenimiento correctivo (solo línea de corrugado)**

Mes	Horas imprevistas por mantenimiento correctivo	% de horas tomadas de producción
Enero	19,1	12,0 %
Febrero	15,7	10,6 %
Marzo	34,6	24,2 %
Abril	33,3	22,5 %
Mayo	17,8	11,0 %
Junio	14,5	13,7 %
Julio	40,1	24,6 %
Agosto	14,8	17,6 %
Total	189,9	17,025 %

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

La tabla anterior indica que se tomaron 189,9 horas destinadas para producción desde enero hasta agosto del presente año para reparar averías presentadas que no se tenía planificado. Esto equivale al 17,025 % de la

planificación de producción. Logrando con esto obtener una confiabilidad del 82,975% de que la línea de producción no fallare por averías imprevistas desde enero hasta agosto.

### **3. PROPUESTA PARA DESARROLLAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)**

#### **3.1. Filosofía TPM**

La filosofía del mantenimiento preventivo comenzó a originarse en Japón a partir del mantenimiento preventivo, El (TPM) *Total Productive Maintenance* por sus siglas en inglés, es utilizado para garantizar absolutamente la fiabilidad de una máquina y que esta produzca sin averías de según las exigencias del cliente, para ello es necesario realizar un cambio en la mentalidad de los colaboradores e inducirlos hacia los términos de cero averías, cero defectos y cero accidentes.

El TPM se fundamenta sobre un conjunto de herramientas de análisis de ingeniería, el cual son empleadas en la reducción de tiempos de paros de máquinas. Se basa en el análisis de datos estadísticos previamente recopilados de los siguientes hechos: falla en rodamientos por no existir lubricación, falla en rodamientos por exceso de suciedad, falla en componentes eléctricos por falta de limpieza, paros de máquina por limpieza, baja velocidad de producción, equipo inadecuado o deficiente y accidentes presentados por los operadores.

#### **3.2. Objetivos de la filosofía**

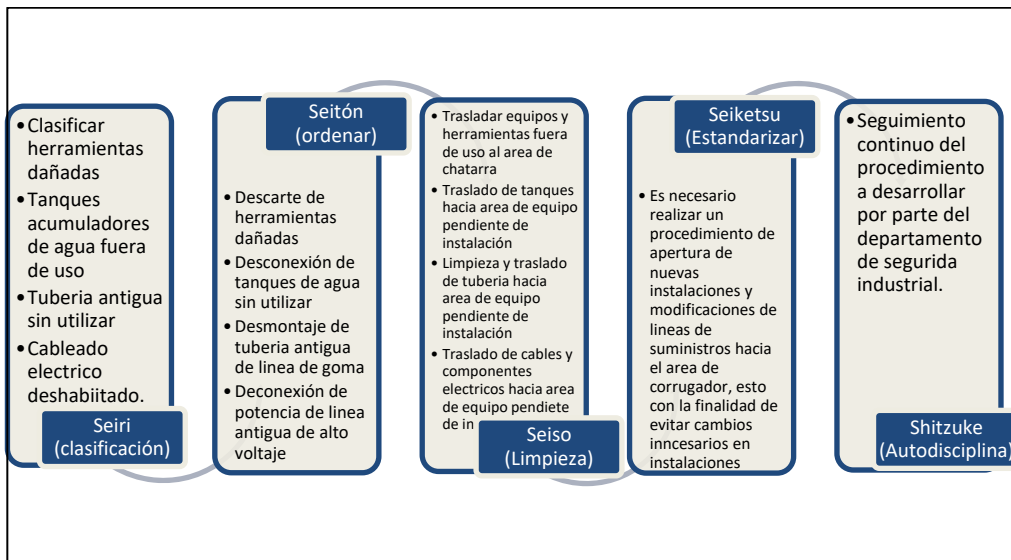
Busca a través de la intervención del personal operativo la reducción de tiempo por paro de mantenimiento correctivo de una línea de producción.

### 3.3. Cinco eses aplicadas a TPM

Cinco técnicas que intervienen directamente en las rutinas del personal encargado de un equipo o línea de producción, estas técnicas son las siguientes: *Seiri*(clasificar), *Seiton* (ordenar), *Seiso* (limpieza), *Seiketsu*(estandarizar), *Shitzuke* (autodisciplina). Estas cinco técnicas buscan la intervención directa del personal de operación de una máquina o línea de producción debido a que, estas personas pasan obtienen un tiempo mayor en la relación hombre-máquina.

Se busca la reducción de averías tanto mecánicas y eléctricas que tengan relación con el ambiente de trabajo en el cual se esté operando, estas a la vez puedan llegar a detener el equipo a operar, ver figura 31, metodología 5 eses.

Figura 31. Metodología 5 eses aplicada a suministros de la línea de corrugadora



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.



### **3.4. Los ocho pilares de TPM**

El principio de esta filosofía se basa en un conjunto de 8 pilares sobre los cuales debe fundamentarse, debe tomarse en cuenta la participación desde los altos mandos hasta los pequeños grupos de trabajos, estos pilares se describen a continuación.

#### **3.4.1. Pilar de mejora focalizada**

En este pilar consta en identifican oportunidades de mejoras que puedan existir dentro de la línea de corrugado, unificando el esfuerzo en común de tres áreas siguientes: producción, recurso humano y maquinaria-mantenimiento

Se identifican las siguientes oportunidades de acuerdo con lo conversado con operadores de línea:

- Revisiones periódicas de los guidores de goma.
- Limpieza superficial de la lona de arrastre de la mesa de secado.
- Limpieza de residuos de goma en el ingreso de la mesa de secado.
- Revisiones de fugas de condensado debajo de la mesa de secado.
- Revisiones de caudal de la tubería de alimentación de goma en el Glue Machine.
- Revisión de unión de bandas de arrastre de los puentes 1, 2 y 3.
- Revisión de temperatura de motores principales de cabezales corrugadores.

Es necesaria la intervención de Producción, Recursos Humanos y Mantenimiento en un solo esfuerzo unificado para llevar a cabo estas mesas de trabajo que se detallan en la figura 32 de la siguiente página.

Figura 32. **Pilar de la mejora focalizada enfocada en Producción, Recursos Humanos y Mantenimiento**

Oportunidades de mejoras unificando recursos de producción, Recurso Humanos y Mantenimiento			
Prioridad	Producción	Recursos Humanos	Mantenimiento
Necesario, prioridad alta	Limpieza en maquinaria y aplicación de 5s	Capacitaciones sobre la identificación de fuentes de suciedad	Obtener el tiempo de paro de maquina para realizar correcciones identificadas
Necesario, prioridad alta	Inspección visual de piezas rodantes y fugas en maquinaria	Capacitaciones sobre inspecciones predictivas-proactivas	Rotular mangueras, graseras y tuberías para la fácil identificación de fugas y daños.
Prioridad media	Programar mesa de trabajo sobre los tiempos perdidos	Programar la asistencia de todo el personal operativo y mecánico	Validar cada punto visto durante la mesa de trabajo realizado
Prioridad media	Programar mesa de trabajo sobre los factores de baja velocidad	Programar la asistencia de todo el personal operativo y mecánico	Validar cada punto visto durante la mesa de trabajo realizado

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.2. **Pilar del mantenimiento autónomo**

El objetivo de este pilar se centraliza en trasladar los conocimientos de las rutinas básicas de mantenimiento hacia los operadores de línea, de esta forma se logra reducir el tiempo de espera de una persona encargada de mantenimiento o la asignación de tarea.

Antes de iniciar con este pilar es necesario que el operador sea capacitado por el líder mecánico de línea en los siguientes aspectos:

- Tipo de aceites, grasas y rodamientos utilizados dentro de la línea de corrugado.

- Periodicidad establecida de lubricación.
- Partes críticas de la línea en análisis.
- Ruidos extraños presentados en equipos.
- Paralelismo entre rodillos.
- Limpieza superficial en áreas no críticas que puedan afectar la integridad del operador.
- Identificación de fuentes de suciedad y desperdicios.

Figura 33. **Pilar de mantenimiento autónomo, mesa de secado**

Ubicación	Revisión durante la operación	Limpieza en tiempo de paro de maquina	Ajustes requeridos por mantenimiento
Mesa de secado	Roturas en banda, papel adherido a lona, fugas de condensado, fugas de aire	Limpieza de los elementos presentados durante la revisión	Cambios y ajustes necesarios
Necesario, prioridad alta	Inspección visual de piezas rodantes y fugas en maquinaria	Capacitaciones sobre inspecciones predictivas-proactivas	Rotular mangueras, graseras y tuberías para la fácil identificación de fugas y daños.
Prioridad media	Programar mesa de trabajo sobre los tiempos perdidos	Programar la asistencia de todo el personal operativo y mecánico	Validar cada punto visto durante la mesa de trabajo realizado
Prioridad media	Programar mesa de trabajo sobre los factores de baja velocidad	Programar la asistencia de todo el personal operativo y mecánico	Validar cada punto visto durante la mesa de trabajo realizado

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3. **Pilar del mantenimiento planeado**

Como principal función de este pilar es identificar a través de los operarios, la forma en la que se presentan las averías en el equipo, estas averías presentadas deberán ser monitoreadas a través de un registro de

seguimiento tal como un *checklist* y/o simbología previamente definida por la empresa, como ejemplo se propone el equipo *glue machine* que forma parte de la línea de corrugado.

Figura 34. **Pilar de mantenimiento planeado operativo, *glue machine***

Mantenimiento planeado Operativo, Glue Machine					
Tarea	Tipo de inspección	Resultado	Indicador	Se puede resolver en el acto	¿Reportar a quien?
Inspección de fugas en manguera de goma	Visual/ tacto		Sin Fugas	No	Mecánico de línea
Inspección de fugas o daños en bomba neumática	Visual/ tacto		Sin Daños	No	Mecánico de línea
Inspección de limpieza en rodillos engomadores	Visual		Sin suciedad	No	Mecánico de línea
Daños presentados en limitadores de goma	Auditivo		Sin daños	No	Mecánico de línea
Falta de presión de agua para limpieza de rodillos engomados	Visual/manometro		60 PSI	No	Mecánico de línea
Temperatura en motor GM y Dosificador	Pirometro		<155 °C	No	Mecánico de línea
Inspección visual de rasquetas	Visual		Sin Daños	No	Mecánico de línea
Paralelismo entre rodillos tensores en el ingreso	Cinta pi		< a 2 mm entre puntas	No	Mecánico de línea
Temperatura de preacondicionador entrada mesa de seca	Pirometro		<155 °C	No	Mecánico de línea
Ruidos extraños presentados en el equipo	Auditivo		Sin ruidos operativos	No	Mecánico de línea

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.4. **Pilar de la capacitación**

A través de este pilar se busca determinar las habilidades que posee cada operario y reforzar los conocimientos en cual se encuentre con oportunidades de mejora. Como ejemplo en la figura 35 se propone los siguientes operadores.

Figura 35. **Pilar de capacitación operativa, cabezal corrugador**

<b>Supervisiones de operación en cabezal corrugador</b>		
<b>Aptitudes</b>	<b>Operador 1</b>	<b>Operador 2</b>
Regulación de presiones de vapor	190 PSI	190 PSI
Revisión del espesor de gap de goma	Si	Si
Revisión de la presión de aire	90 PSI	No
Revisión de tensiones de papel	Si	Si
Revisión de daños en bobinas de papel	Si	Si
Revisión de limpieza de rodillos engomadores	No	No
Revisión de temperatura de precalentadores	160°C-180°C	160°C-180°C
Revisión de temperatura de rodillos corrugadores	160°C-180°C	160°C-180°C
Revisión de temperatura de motores	No	No
Revisión de presión en lado operador y maquina	No	No

Fuente: elaboración propia.

Después de realizado el anterior ejercicio se presentan las oportunidades de mejora en supervisión operativa para el monitoreo de los siguientes:

- Presión de aire previo a iniciar con la producción para evitar falta de presión en rodillos pisadores.
- Limpieza en rodillos engomadoras para evitar mal pegado en el *single facer*.
- Temperatura de motores para evitar paradas durante el turno operativo.
- Comparación de presiones de trabajo de lado máquina y operador para una producción uniforme en las láminas de cartón corrugado.

### **3.4.5. Pilar del control inicial**

Se busca a través de este pilar la conservación total del equipo y área de trabajo a través de las 5 eses, clasificación, orden, limpieza, estandarizar y autodisciplina, se realizó el procedimiento de 5S dentro del área de abastecimiento de goma del corrugador.

Figura 36. **Pilar de control inicial**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

### **3.4.6. Pilar del mejoramiento para la calidad**

El principal objetivo de este pilar se centraliza en alcanzar cero defectos de producción, estas se logran a través de cero defectos en los equipos, cero defectos en la materia prima, cero defectos en la manipulación de los equipos.

Este puede ser alcanzado únicamente a través del seguimiento y búsqueda continua de oportunidades de mejoras dentro de los pilares

anteriores, repitiendo los procedimientos anteriores con las distintas máquinas y equipos que conforman la planta de corrugado.

### 3.4.7. Pilar de TPM en los departamentos de apoyo

Para encaminar los procesos a cero defectos, es necesario el apoyo en los departamentos que intervienen directamente con la producción, para el proceso de corrugado intervienen las siguientes áreas: Gerencia General, Jefatura de producción, Materia prima, Mantenimiento, Control de Calidad y Compras. Como ejemplo de apoyo se propone el siguiente cuadro.

Figura 37. **Pilar de TPM en los departamentos de apoyo**

Departamento de apoyo	Apoyo Requerido
<b>Gerencia General</b>	Aprobación de presupuestos solicitados por el Jefe de producción para mejora de producción
	Aprobación de horas extras para realizar las distintas actividades de TPM propuestas
<b>Jefatura de producción</b>	Incentivar el trabajo en equipo
	Gestionar la aprobación de horas extras para realizar las actividades TPM
	Crear un plan 5S Crear un plan de búsqueda de oportunidades basado en los ocho pilares TPM
<b>Materia Prima</b>	Revisión de papel antes de ingresarlo a línea de producción
	Manipulación y traslado correcto de las bobinas de papel, evitar daños de la materia prima durante las maniobras
<b>Control de calidad</b>	Realizar pruebas de humedad de papel antes de cargar las bobinas de papel dentro de la línea de producción
	Evitar ingresar papel de distinto gramaje solicitado por la línea de producción
<b>Departamento de Compras</b>	Entrega a tiempo los insumos solicitados por producción
	Entrega de insumos de buena calidad solicitados por producción

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.8. Pilar de seguridad, higiene y medio ambiente

Este pilar busca asegurar el bienestar del personal a través de un adecuado y seguro área de trabajo, bajo las condiciones ideales de trabajo tales como: intensidad sonora, ergonomías realizadas, intensidad luminosa, descargas eléctricas, atrapamientos de miembros del cuerpo dentro de cada

equipo, sustancias químicas y todos aquellos factores que puedan alterar la salud y seguridad ocupacional de los trabajadores.

### **3.5. Equipos que conforman el mejoramiento**

Se enfoca en los equipos al cual serán aplicados los métodos propuestos.

#### **3.5.1. Porta bobinas**

Equipo encargado de soportar las bobinas de papel, cuya función principal es desenrollar las bobinas y alimentar de papel a la línea de corrugado, para este equipo nos enfocaremos de la siguiente forma. Primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno. Posteriormente aplicar 5s a todo el equipo, segundo: búsqueda de componentes que tengan un potencial alto de producir material defectuoso durante el proceso. Tercero: análisis de componentes que impiden el aumento de velocidad y mantener una adecuada velocidad de producción. Cuarto: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual y sonora de equipos que puedan afectar la producción. Quinto: capacitar al personal de producción.

#### **3.5.2. Precalentadores**

Este equipo se encarga de retirar la presencia de humedad que se encuentra en el papel que suministra la porta bobinas, se basa en un cilindro hueco giratorio por el cual circula vapor, el pliego de papel arroja este cilindro mientras el cilindro gira sobre sus extremos. Para este equipo procederemos de la siguiente forma. Primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.



Segundo: búsqueda de componentes que tengan un potencial alto de producir material defectuoso durante el proceso, para este caso tomar en cuenta la calidad del vapor de entrada y la evacuación correcta del condensado

Tercero: análisis de componentes que impiden el aumento de velocidad y mantener una adecuada velocidad de producción. Cuarto: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual, sonora y de termografía de equipos que puedan afectar la producción.

Quinto: capacitar al personal de producción sobre las nuevas rutinas. Ver figura38, vista lateral de un precalentador de *liner* interno.

Figura 38. **Precalentador *liner* interno**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

### 3.5.3. Flautas

Luego de la remoción de la humedad del papel, este pliego se encuentra listo para ingresar a la zona de corrugación, en esta área se le provee el tipo de ondulado el cual es requerido por las especificaciones del cliente. El ondulado

se lleva a cabo por medio de dos rodillos ondulados que se encuentran en contacto directo, el pliego de papel se desliza en medio de ambos. Para este equipo se procederá de la siguiente forma:

Primero: identificar los puntos críticos de limpieza, desperdicio y demoras en tiempos de arranque, identificar las fuentes que cada uno pueda tener, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.

Segundo: búsqueda de componentes que tengan un potencial alto de producir material defectuoso durante el proceso. Para este caso tomar en cuenta la calidad del vapor de entrada, la evacuación correcta del condensado, temperatura de goma, temperatura de papeles de entrada y de salida, definir las posibles causas de un pegado incorrecto, definir las principales causas de atascamiento de papel, fugas y desgaste en mangueras hidráulicas, definir los parámetros de pegado de goma dependiendo del tipo del papel.

Tercero: análisis de componentes que impiden el aumento de velocidad y mantener una adecuada velocidad de producción tales como: sensores, motores no originales, variadores de frecuencia no definidos por el fabricante.

Cuarto: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual, sonora, monitoreo de temperatura de moto-reductores y limpieza en general.

Quinto: capacitar al personal de producción sobre las nuevas rutinas establecidas. Ver figura 39, vista lateral del equipo de corrugación tipo flauta C.

Figura 39. **Flauta corrugadora**



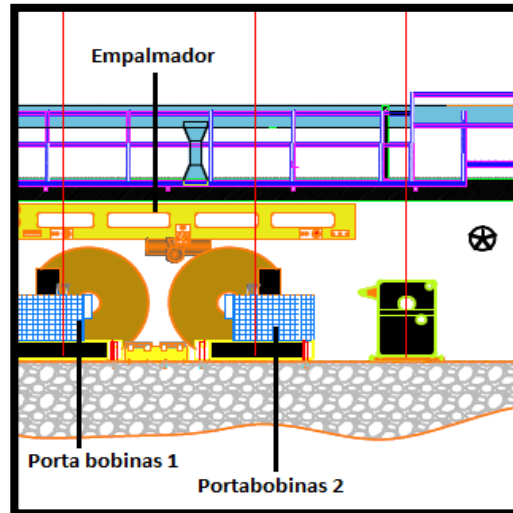
Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### **3.5.4. Empalmadoras**

El equipo de empalme o como también es denominado empalmadora, se basa en un conjunto de rodillos el cual se encarga de hacer el empalme a una velocidad que varía dependiendo del modelo de la empalmadora, el empalme ocurre entre dos bobinas de papel que son unidas entre sí luego de que una bobina de las dos se consume y la otra bobina en espera. La función principal de la empalmadora es unir ambas bobinas en sus extremos sin que el flujo de papel se detenga.

Este equipo conforma una parte muy importante en el flujo del proceso, ya que al momento de realizar un empalme incorrecto puede generar rotura del papel o un empalme desalineado, es importante considerar para este punto el cambio de la empalmadora *liner* externo para no reducir la velocidad al momento de realizar el empalme. Ver figura 40, vista lateral de empalmadora actual.

Figura 40. Vista lateral de empalmadora



Fuente: elaboración propia, realizado en AutoCAD.

### 3.5.5. Elevadores

Los elevadores se conforman por cuatro rodillos y cuatro bandas PVC que se encargan de elevar el *single face* que sale de la zona de ondulado, el objetivo de este elevador es ingresar el *single face* hacia el puente de traslación, como principales fallas se encuentra el desgaste de rodamientos, rotura de sellos en los cojinetes y rotura de bandas.

Para este equipo se procederá de la siguiente manera:

- primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.
- Segundo: búsqueda de componentes que tengan un potencial alto de producir material defectuoso durante el proceso, para este caso tomar en

cuenta el estado actual de las bandas de subida y los rodamientos de cada rodillo, adicional definir los criterios de paralelismo entre rodillos elevadores.

- Tercero: análisis de componentes que impiden el aumento de velocidad tales como variadores de frecuencia de las bandas de subida, tacómetros, empalme de bandas.
- Cuarto: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual, sonora. Quinto: capacitar al personal de producción sobre las nuevas rutinas, ver figura 41, salida de elevadores.

Figura 41. **Salida de elevadores**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

### 3.5.6. **Engomadoras**

Este equipo consta de 2 rodillos que girando aplican goma por contacto directo sobre el papel, con este último pegado se logra obtener un pliego de cartón completo, para este equipo se procederá de la siguiente manera:

- Primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.

- Segundo: búsqueda de componentes que tengan un potencial alto de producir material defectuoso durante el proceso, para este caso tomar en cuenta la calidad de la goma de entrada y definir el espesor correcto de la película de goma dependiendo del tipo de papel, definir los criterios de paralelismo entre rodillos aplicadores de goma.
- Tercero: análisis de componentes que impiden el aumento de velocidad y mantener una adecuada velocidad de producción.
- Cuarto: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual, sonora y limpieza de rodillos engomadoras.
- Quinto: capacitar al personal de producción sobre las nuevas rutinas.

### **3.5.7. Mesa de secado**

Luego de haber pegado el ultimo pliego de papel hacia el *single* y este ya se encuentra formando una lámina de cartón ondulado, esta lámina recién pegada debe ingresar a la mesa de secado donde se le remueve la humedad producida por el ultimo pegado, la mesa de secado se comprende por planchas de calefacción que son calentadas por medio de vapor hasta determinar los valores de operación, para este equipo se procederá de la siguiente forma.

- Primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.
- segundo: búsqueda de componentes que tengan un potencial alto de producir material defectuoso durante el proceso, para este caso tomar en cuenta la calidad del vapor de entrada y la evacuación correcta de

condensado, definir las presiones correctas de los *hot-foots*, y las presiones de vapor de las 4 secciones de la mesa de secado.

- Tercero: análisis de componentes que impiden el aumento de velocidad y mantener una adecuada velocidad de producción.
- Cuarto: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual, sonora y limpieza de rodillos engomadoras.
- Quinto: capacitar al personal de producción sobre las nuevas rutinas.

### **3.5.8. Banda de tracción**

La banda de tracción se compone por una banda de lona que se encarga de proveer tracción a la lámina de cartón salida de la engomadora, esta banda arrastra la lámina de cartón eliminando la humedad del pegado por contacto directo por cada una de las planchas, para este equipo se procederá de la siguiente forma:

- Primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5 eses a todo el equipo.
- Segundo: búsqueda de componentes que tengan un potencial alto de producir material defectuoso durante el proceso, para este caso tomar en cuenta el desgaste en las orillas de la lona, definir los criterios de medición de espesor de lona y paralelismo de rodillos de tracción.
- Tercero: análisis de componentes que impiden el aumento de velocidad y mantener una adecuada velocidad de producción.
- Cuarto: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual, sonora y limpieza de lona.
- Quinto: capacitar al personal de producción sobre las nuevas rutinas. Ver figura 42.

Figura 42. **Banda de tracción de mesa de secado**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

### 3.5.9. **Cortadora *stacker***

Este equipo que conforma parte de la línea de corrugado se utiliza para apilar las láminas de cartón que salen de la línea de corrugado, para este equipo se procederá de la siguiente forma.

- Primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.
- Segundo: búsqueda de componentes que tengan un potencial alto de producir material defectuoso durante el proceso, para este caso tomar en cuenta el desgaste y dureza de las ruedas non-crushy la periodicidad de cambio.
- Tercero: análisis de componentes que impiden el aumento de velocidad y mantener una adecuada velocidad de producción.



- Cuarto: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual, sonora y limpieza de lona.
- Quinto: capacitar al personal de producción sobre las nuevas rutinas.

Figura 43. **Salida de *stacker***



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

### 3.5.10. **Cocina de adhesivo**

Esta área se encarga de producir el adhesivo que se utiliza en las distintas máquinas corrugadoras, está compuesta por un tanque principal, tanque secundario, tanque de almacenamiento, agitadores y bombas de descarga, para este equipo se tomarán las siguientes consideraciones.

- Primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.
- Segundo: búsqueda de componentes que tengan un potencial alto de producir material defectuoso durante el proceso, para este caso tomar en

cuenta la temperatura de la goma, analizar la posibilidad de reutilizar el agua de lavado de los rodillos engomadoras.

- Tercero: análisis de componentes que impiden el aumento de desperdicio y mantener una adecuada calidad de goma en la producción.
- Cuarto: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual, sonora y limpieza de tanques y bombas neumáticas.
- Quinto: capacitar al personal de producción sobre las nuevas rutinas.

### **3.5.11. Carro de transferencia**

El carro de transferencia es utilizado para movilizar las láminas apiladas que salen del *stacker* de la línea corrugadora, es un medio de transporte entre el área de corrugado y el área de impresoras, para este equipo se tomarán las siguientes consideraciones.

- Primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.
- Segundo: búsqueda de componentes que tengan un potencial alto de detener el traslado entre áreas, para este caso tomar en cuenta la periodicidad de limpieza de llantas y rieles eléctricos, fisuras en piñones y banda plástica.
- En tercer lugar, se hará un análisis de componentes que impiden el aumento de desperdicio.
- Cuarto: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual, sonora y de limpieza, ver figura 44, vista frontal del carro de transferencia.

Figura 44. **Carro de transferencia**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

### **3.5.12. Cajas reductoras**

Mecanismo conformado por un conjunto de engranajes y tornillos sin fin de distintos números de dientes y diferentes dimensiones, cuya finalidad es alterar el número de revoluciones y la potencia de un motor eléctrico a través de un mecanismo. Para estos equipos se procederá de la siguiente forma:

- primero: Identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.
- Segundo: determinar la periodicidad de la limpieza de estos equipos.
- Tercero: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual, sonora y de limpieza.

### **3.5.13. Motores**

Conjunto de partes mecánicas que se encargan de transformar la energía eléctrica en movimiento mecánico, haciendo rotar un eje por medio de electromagnetismo sobre un conjunto de rodamientos, estos motores por lo

regular se encuentran adheridos a una caja reductora para incrementar el par torsional o cambio en la velocidad del motor. Para estos equipos se procederá de la siguiente forma: primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo, segundo: determinar la periodicidad de la limpieza de estos equipos, tercero: definir tareas dirigidas al personal de producción enfocadas en la inspección visual, sonora y de limpieza.

#### **3.5.14. Variadores de motores**

Elemento eléctrico cuya función es variar la frecuencia de alimentación hacia el motor de corriente alterna, a través de esta variación de frecuencia puede reducir la velocidad (rpm) del motor. Están presentes en los motores que controlan la velocidad de rotación de los rodillos engomadoras, mesa de secado, rodillos ondulados.

Para estos equipos se procederá de la siguiente forma:

- Primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.
- Segundo: determinar la periodicidad de la limpieza de estos equipos y definir los criterios de aceptación de temperatura a través de la cámara de termografía.
- Tercero: definir tareas dirigidas al personal de mantenimiento enfocadas en la inspección visual y de limpieza.

#### **3.5.15. Tableros eléctricos principales**

Componente eléctrico compuesto internamente por distintos accesorios que conforman el centro de carga de una máquina, un tablero eléctrico se

encuentra compuesto por los siguientes elementos: interruptor magneto térmico guarda motores, fusibles de distintas capacidades, variadores de frecuencia, interruptores, botoneras y otros.

Para estos equipos se procederá de la siguiente forma:

- Primero: Identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.
- Segundo: determinar la periodicidad de la limpieza de estos equipos y definir los criterios de aceptación de temperatura a través de la cámara de termo grafía.
- Tercero: definir tareas dirigidas al personal de mantenimiento enfocadas en la inspección visual y de limpieza.

### **3.5.16. Cajas de conexión de potencia**

Estas cajas distribuyen la corriente hacia los tableros principales, estas cajas de potencia están compuestas por los siguientes elementos: barras de cobre de distintas capacidades, barras de aluminio de distintas capacidades, interruptor diferencial, interruptores termo magnético y fusibles de alta capacidad.

Para estos equipos se procederá de la siguiente forma:

- Primero: identificar los puntos críticos de limpieza y las fuentes de cada uno, posteriormente aplicar 5s a todo el equipo.
- Segundo: determinar la periodicidad de la limpieza de estos equipos y definir los criterios de aceptación de temperatura a través de la cámara de termo grafía.

- Tercero: definir tareas dirigidas al personal de mantenimiento enfocadas en la inspección visual y de limpieza.

### **3.6. Datos de fallas presentadas en los equipos**

Resumen de las principales fallas presentadas en los equipos:

- Deterioro de mangueras hidráulicas en la porta bobinas.
- Daños de los rodamientos en rodillos ondulados.
- Fugas de vapor en mangueras de retorno de condensado, estos se encuentran en los precalentadores.
- Fugas de vapor en las juntas rotativas Jhonsons.
- Fisuras en rodillos arropadores.
- Exceso de polvillo en puntas graseras.
- Trampas de vapor inadecuadas ya que no logran evacuar el flujo de condensado producido.

### **3.7. Formato de encuesta de análisis de criticidad**

A continuación, se presenta el ejemplo de un formato de análisis de criticidad de un equipo que conforma la línea de corrugado, como ejemplo se propone la mesa de secado para su evaluación, se evaluará la parte mecánica, neumática e hidráulica, ver figura 45.

Figura 45. **Formato de análisis de criticidad**

**Analisis de Criticidad de Mesa de secado**

Fecha:

Mecánico en turno:

Díurno:  Nocturno:

Tiempo de paro de línea:  Fallo Mecánico:

Fallo Eléctrico:

Listado de partes criticas de mesa de secado	Marque una o varias casillas	Presenta componentes dañados		Existe repuesto	
		si	No	Si	No
Baja presión de aire en acometida de lado operador					
Baja presión de aire en acometida de lado máquina					
Fuga de vapor lado operador					
Fuga de vapor lado máquina					
Desgaste de banda superior lado operador					
Desgaste de banda superior lado máquina					
Desgaste de banda inferior lado operador					
Desgaste de banda inferior lado máquina					
Baja temperatura de planchas de transferencia lado operador					
Baja temperatura de planchas de transferencia lado máquina					
Tuberías de alimentación de aire dañadas					
Tuberías de alimentación de vapor dañadas					
Fuga de aceite hidráulico en mangueras hidráulicas de cilindros de elevación					
Fuga de aceite hidráulico en sellos de cilindros hidráulicos					

comentario

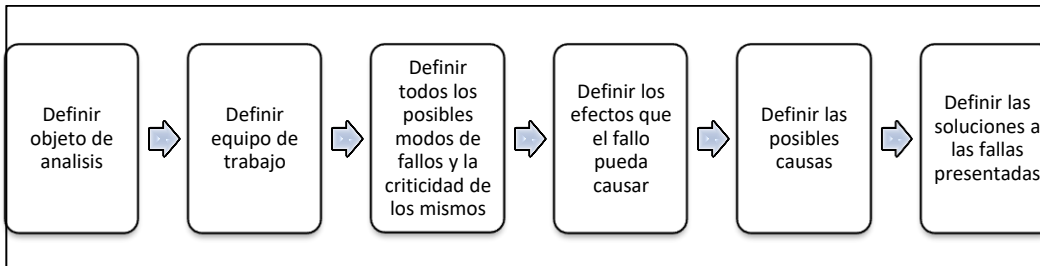
Se había reportado anteriormente: si  No

Fuente: elaboración propia.

### 3.7.1. **Análisis AMFEC**

El análisis de modos de fallas, efectos y criticidad (AMFEC), es un método utilizado para la planeación del mantenimiento el cual se basa en lo siguiente: determinar los posibles fallos mecánicos y eléctricos que puedan existir dentro de un proceso de producción, el efecto que los produce, la causa que condujo a dicho él y la forma de solucionar los fallos existentes.

Figura 46. Diagrama de pasos para definir un fallo mecánico



Fuente: elaboración propia.

Como ejemplo se describe la falla por fuga en los sellos de un cilindro hidráulico de uno de los *clamps* de un montacargas que alimenta la línea de producción, existen 4 cilindros por *clamp* y el tiempo de vida de los sellos internos dependerá de la cantidad de horas trabajadas y la calidad de los repuestos utilizados, regularmente representa un tiempo de vida de 4 a 6 meses.

Al momento de presentar una fuga hidráulica en los sellos este debe detenerse inmediatamente su operación ya que el derrame de aceite hidráulico es muy peligroso para el tránsito con el montacargas, los tiempos de reparación por mantenimiento correctivo no planificado se detallan en la siguiente figura. Más adelante en la implementación del análisis AMFEC del capítulo 4 se puede observar la metodología de cómo puede reducirse este tiempo bajo una revisión rutinaria del operador en turno del montacargas.



Figura 47. **Tiempo de reparación por concepto de cambio de sellos de cilindro hidráulico de *clamp***

Cambio de sellos internos de un Cilindro Hidráulico	
Actividad	Tiempo en minutos
Desmontaje de pines de sujeción	20
Desmontaje de mangueras hidráulicas	15
Desmontaje de Cilindro Hidráulico	5
Extracción de tapa frontal de Cilindro Hidráulico	20
Extracción de cuerpo de paredes internas y vástago	5
Revisión de sellos internos	5
Sustitución de sellos internos dañados	10
Instalación de cuerpo de paredes internas y vástago	10
Instalación de tapa frontal de cilindro Hidráulico	20
Montaje de Cilindro Hidráulico	10
Instalación de Mangueras Hidraulicas	15
Instalación de pines	25
<b>Total</b>	<b>160</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Cilindro hidráulico dañado de *clamp* de montacargas de alimentación a línea de producción**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

### 3.8. Mejoramiento del sistema de mantenimiento predictivo actual

Como mejora del sistema actual, se plantearán ejemplos de rutinas de mantenimiento predictivo a través de las siguientes herramientas: cámara de termografía, analizador de vibración y comparador de excentricidades.

Cámara de termografía: equipo utilizado en la industria que permite convertir la energía infrarroja emitida por una pieza enfocada por el lente de la cámara, visualizando en la pantalla una imagen de la pieza con su respectiva temperatura.

- Analizador de vibraciones: el principal objetivo de este equipo es la comprobación de forma rápida el estado de una pieza mecánica rotativa, mostrando en la pantalla el rango de vibración que produce al momento de rotar, comprobando si la pieza en análisis se encuentra dentro o fuera del rango de operación. El rango de la frecuencia de vibración de una pieza rotativa en condiciones operativas estables es definido por el fabricante.
- Comparador de excentricidades: consta básicamente de un reloj o *display*, donde muestra la excentricidad o redondez de un eje, comúnmente se utiliza al momento de acoplar dos ejes, motor y bomba, este comparador evita que los ejes y rodamientos se dañen al momento de rotar si estuviesen desalineados.

### **3.9. Índices de confiabilidad de los equipos que conforman el mejoramiento**

Para determinar la confiabilidad se pretende monitorear los siguientes tiempos: tiempo de aviso de fallo por medio del operador de línea, tiempo de llegada del mecánico hacia el lugar del fallo, tiempo de comienzo de la reparación, tiempo final de la reparación y tiempo de arranque de la línea de producción.

#### **3.9.1. Tiempo medio hasta el fallo**

Se refiere al tiempo de ocurrencia del mismo fallo presentado en el mismo equipo, como ejemplo se puede tomar el cambio de la banda de tracción de la mesa de secado. Esta banda no se mide en tiempo trabajado, se mide en metros recorridos a lo largo de las planchas dependiendo de la velocidad de trabajo.

#### **3.9.2. Tiempo promedio entre fallo**

Este tiempo se refiere al tiempo promedio que la línea se encuentra parada por motivos de fallas mecánicas y eléctricas sin importar el tipo de fallo.

#### **3.9.3. Tiempo promedio para reparar**

Se basa en el tiempo que un mecánico realiza la reparación de la falla presentada, sin contar el tiempo de aviso y el tiempo de arranque de la línea de producción.

### **3.10. Factores defectuosos en proceso de producción**

Los principales factores que se presentan en el proceso de producción son los siguientes: factor de desperdicio y factor de tiempo perdido.

#### **3.10.1. Factores de desperdicio**

Se busca reducir este factor de acuerdo con un adecuado mantenimiento en la línea de producción y un manejo adecuado de los equipos que conforman la línea de corrugado.

A continuación, los siguientes puntos críticos para reducir el factor de desperdicio:

- Descarga de bobinas de materia prima: tener el debido cuidado al momento de realizar las descargas de bobinas ya que la mala manipulación con el montacargas produce daños en las bobinas, este papel dañado es cortado de la bobina y enviado al área de embalaje.
- Almacenamiento de bobinas de materia prima: la bodega de materia prima debe cumplir con los requisitos de impermeabilización, sellado libre de roedores, ingreso de contaminantes y condiciones ideales de infraestructura, esto para evitar el daño en la materia prima y generar desperdicio.
- Consumo de bobinas dentro de la línea de corrugado: es necesario realizar la gestión del consumo total de las bobinas dentro de la línea de corrugado ya que al momento de dejar un remanente de papel en la bobina este se traslada hacia el área de embalaje.

- *Trim fan* en salida de *slitter*: es de suma importancia tener bajo supervisión continua este punto crítico y darle seguimiento con el programador de la línea de corrugado, el programador debe definir los pedidos cuya combinación se utilice el mayor ancho del papel.
- Traslado de láminas de corrugador hacia área de conversión: el método de transporte de láminas internas juega un papel muy importante al momento de realizar el traslado, esto debido a que se puede dañar las láminas por el mal manejo de las tarimas.
- Traslado de desperdicio de papel: es de suma importancia tener un adecuado equipo de traslado para evitar taponamientos en ductos de desperdicio o filtración de humedad dentro de los ductos.

### **3.10.2. Factores de tiempo perdido**

A través de un desglose del tiempo total de la línea de producción parada, podremos obtener un panorama más amplio de los distintos tiempos perdidos y los cuales son: tiempo de aviso de fallo por medio del operador de línea, tiempo de llegada del mecánico hacia el lugar del fallo, tiempo de comienzo de la reparación, tiempo final de la reparación y tiempo de arranque de la línea de producción.

### **3.11. Adaptación del equipo**

Para lograr una adecuada adaptabilidad del equipo dentro de su entorno, es necesario definir el *lay out* de trabajo y aplicar las 5S en cada una de ellas, de esta forma se puede obtener un panorama más amplio de los objetos que no aportan valor alguno al proceso.

### **3.12. Complemento de rutinas de mantenimiento**

Es posible apoyarse en las siguientes herramientas, cámara termográfica, analizadores de vibración y comparadores de excentricidad.

## 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

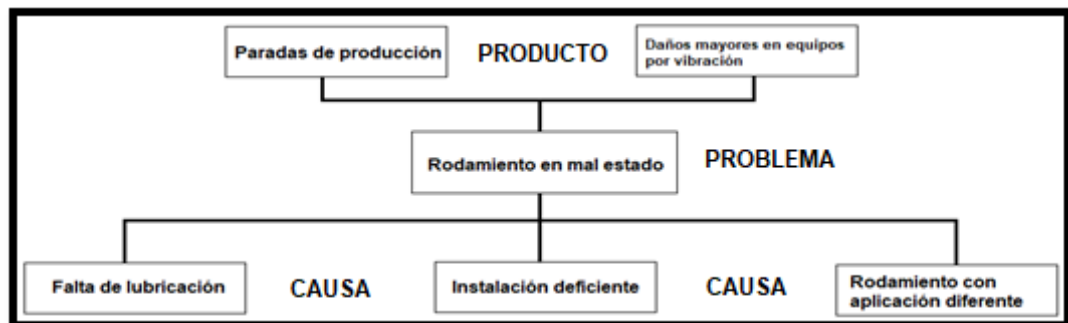
### 4.1. Herramientas de diagnóstico por utilizar

Distintos métodos que nos permiten visualizar de una manera más amplia la situación actual de una actividad en estudio.

#### 4.1.1. Diagrama de árbol

Método empleado el cual permite visualizar de modo esquemático las causas y efectos de un problema, la raíz del árbol es identificada como la causa del problema principal, las hojas del árbol representan las consecuencias que desencadena cada una de las posibles causas, como ejemplo de aplicación se propone el problema siguiente: sustitución de un rodillo corrugador por los rodamientos dañados en sus extremos.

Figura 49. Diagrama de árbol



Fuente: elaboración propia.

Cuando el rodamiento de un rodillo corrugador se daña por algún problema, es necesario realizar el cambio del rodamiento que se encuentra en el lado opuesto a su longitud, esto para asegurar el correcto funcionamiento del equipo.

#### 4.1.2. Determinación de los puntos críticos de control

Consiste en garantizar la máxima seguridad alimenticia a través de un proceso sistemático controlable, es necesario no omitir ninguna parte del proceso en análisis ya que puede existir una probabilidad de contaminación en la cadena de producción.

Como principal objetivo se busca identificar y evaluar cada uno de los riesgos de contaminación del empaque primario a través del proceso de producción, como ejemplo de aplicación se propone la descarga de materia prima de bobinas de papel.

Figura 50. Puntos críticos de control en descarga de materia prima

Puntos de Control	Evento a controlar	Método de Control	Evidencia de Control
<i>Descarga de Materia prima</i>	Presencia de insectos, bobinas con manchas de aceite y otras sustancias, estado higiénico del contenedor	Inspección visual por el operador y transporte	Registro de limpieza del transporte
<i>Traslado de Materia prima</i>	Presencia de insectos, bobinas con manchas de aceite y otras sustancias	Inspección visual por el operador de traslado de Materia Prima	Registro de limpieza de operador de descarga
<i>Almacén de Materia Prima</i>	Humedad y estado Higiénico del almacén	Inspección visual por personal de Bodega de Materia Prima	Registros de limpieza y mantenimiento de Bodega de Materia Prima

Fuente: elaboración propia.



### 4.1.3. Hojas de registro

Formato predefinido a conveniencia del recopilador de datos, cuyo objetivo principal es recabar información de manera directa y concisa a través de un conjunto de preguntas directas, a continuación, en la siguiente figura el ejemplo basado en el punto crítico de control del almacén de materia prima.

Figura 51. Hoja de registro de almacén de materia prima

Hoja de Registro del almacén de Materia Prima		
Acción a validar dentro del almacén de Bobinas	En estudio/En proceso	SI/NO
Estructura adecuada de la bodega de almacenaje		
Apilamiento adecuado de materia prima		
Piso de trabajo libre de materiales contaminantes		
Altura de apilamiento controlado		
Iluminación adecuada para el manejo de materia prima		
Extintores ABC con mantenimiento al día		
Registro del personal de limpieza dentro del almacén		
Registro de materiales y equipo de limpieza utilizado		
Registro de mantenimiento de estructuras		
Manejo adecuado de Aguas pluviales y Aguas de lavados		
Registro de plagas del almacén		
Puertas y ventanas en buenas condiciones		
Manual de procedimiento de control de calidad de materia prima		
Uso adecuado y exclusivo para almacenaje de materia prima		
Manejo adecuado de materia prima rechazada por mala calidad		

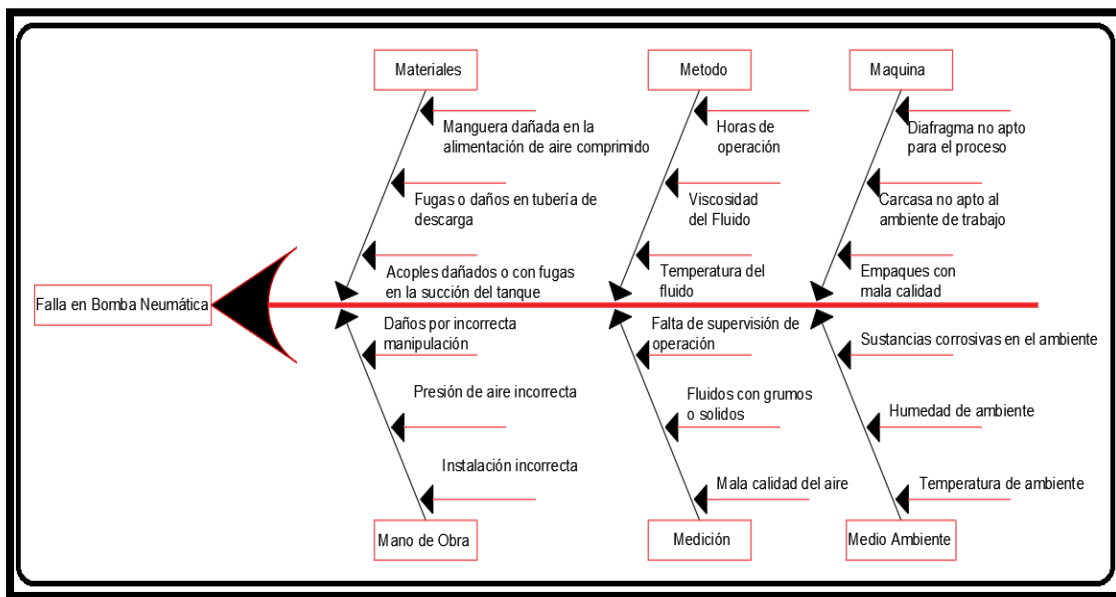
Fuente: elaboración propia.

### 4.1.4. Diagrama de Ishikawa (causa efecto)

Este diagrama definido en la ingeniería japonesa y por su peculiar forma es relacionado con la espina vertebral de un pescado, es utilizado para identificar las causas y los efectos que produce un problema bajo seis distintas perspectivas diferentes, se analizan las causas y los efectos sobre una falla en

un equipo u objeto en análisis, se deben considerar los siguientes factores: mano de obra, materiales, máquina, método, medidas y medio ambiente. Al eje horizontal van llegando líneas oblicuas, estas representan las causas evaluadas desde las seis perspectivas, cada una de estas causas es evaluada a profundidad para determinar la probabilidad de ocurrencia y la criticidad de cada uno. Como ejemplo de aplicación se propone el siguiente equipo: bomba neumática de la cocina de goma.

Figura 52. Diagrama Ishikawa aplicado a una bomba neumática



Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.5. Diagrama de Pareto

Este diagrama estadístico permite visualizar las causas y efectos de un conjunto de problemas a través de una gráfica de barras, ordenados verticalmente en orden descendente de izquierda a derecha. Como principio

fundamental establece que el 20 % de los problemas producidos forma el 80 % de los efectos negativos. Como ejemplo de aplicación se plantea el historial de las paradas por fallas técnicas dentro de la línea de corrugado, los resultados arrojados indican que atacando las fallas producidas en CC2, empalmadoras, Transfer Car, falta de vapor, montacargas de *clamp* y cortes de energía eléctrica se podrá solucionar el 80 % de las fallas presentadas dentro de esta línea de producción.

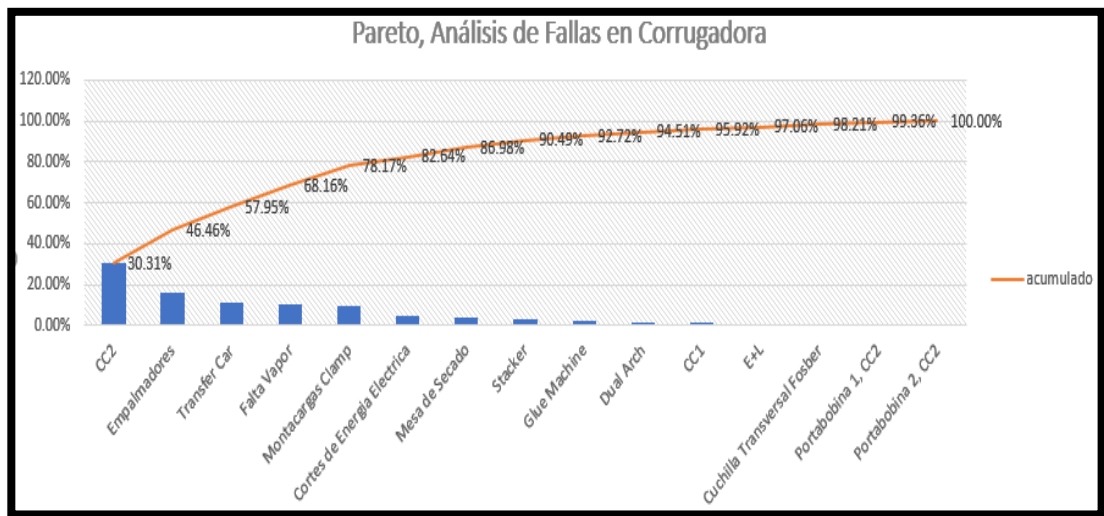
Figura 53. **Registro de paradas técnicas en corrugadora**

PARADAS TÉCNICAS CORRUGADORA						
# de Paradas	Equipo	Mecánico	Eléctrico	Total Horas	Porcentaje	Acumulado
11	CC2	3.75	1	4.75	30.31%	30.31%
12	Empalmadores	2.28	0.25	2.53	16.15%	46.46%
3	Transfer Car	1.8	0	1.8	11.49%	57.95%
1	Falta Vapor	1.6	0	1.6	10.21%	68.16%
2	Montacargas Clamp	1.57	0	1.57	10.02%	78.17%
4	Cortes de Energia Electrica	0	0.7	0.7	4.47%	82.64%
3	Mesa de Secado	0.38	0.3	0.68	4.34%	86.98%
2	Stacker	0.55	0	0.55	3.51%	90.49%
2	Glue Machine	0.35	0	0.35	2.23%	92.72%
1	Dual Arch	0	0.28	0.28	1.79%	94.51%
1	CC1	0	0.22	0.22	1.40%	95.92%
2	E+L	0	0.18	0.18	1.15%	97.06%
1	Cuchilla Transversal Fosber	0	0.18	0.18	1.15%	98.21%
1	Portabobina 1, CC2	0.18	0	0.18	1.15%	99.36%
1	Portabobina 2, CC2	0.1	0	0.1	0.64%	100.00%
Totales		12.56	3.11	15.67	100.00%	100.00%

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

Basado en el cuadro anterior se procede a realizar el diagrama de Pareto con la ayuda de un software para realizar el gráfico.

Figura 54. Diagrama de Pareto de las paradas técnicas de corrugadora



Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.6. Análisis modal de fallas y efectos (AMFE)

Consiste en la realización de una hoja de trabajo tabulada donde se van escribiendo los fallos potenciales basado en la gravedad de afectación y el efecto que causa al momento de presentarse dicho fallo. Este documento permite tener una visión más amplia de los principales efectos producidos sobre los componentes o procesos de un sistema, en cada columna se busca determinar los modos, causas y efectos de una posible falla, como ejemplo de aplicación de la herramienta AMFE se propone la falla en un cilindro hidráulico principal del *clamp* del montacargas de alimentación del corrugador, ver figura 55.

Figura 55. **Análisis AMFE sobre el fallo en un cilindro hidráulico del *clamp* del montacargas**

ANÁLISIS AMFE, CILINDROS HIDRÁULICOS DEL CLAMP DE MONTACARGAS									
Función	Falla	Efectos	Nivel de Gravedad	Causas	Nivel de ocurrencia	Controles actuales	Dificultad de detección	Acciones recomendadas	Fecha de cumplimiento
Permite controlar la apertura y presurización del clamp para tomar una bobina y trasladarla	Problemas de agarre del clamp con las bobinas	1.Deslizamiento de la bobina por falta de presurización, 2. Rotación deficiente de la bobina, 3. Caída de bobina	Muerte a personas / Daño a equipos o infraestructura	1. Falla en los sellos de los cilindros hidráulicos, 2. Mangueras hidráulicas con fugas, 3. Fuga en los fittings, 4. Daños físicos en cilindro, 5. Rotor con fuga en los sellos, 6. Empaques dañados de válvulas de dirección, 7. Distribuidor de presión con daños en los empaques internos	Bajo	No posee controles de monitoreo, únicamente revisión de fugas por parte del operador	Alta	1. Reemplazo del conjunto de mangueras cada vez que se presente goteo en alguna de ellas, 2. Revisión periódica por el operador de los componentes que puedan presentar fugas, 3. Al momento de presentarse alguna fuga en las causas previas es necesario las revisión y correcciones inmediatas.	Abril de 2018

Fuente: elaboración propia.

Con esta revisión de cada uno de los cilindros que conforma el *clamp* es posible reducir un tiempo de 160 minutos de paro imprevisto por mantenimiento correctivo no planificado.

#### 4.1.7. Análisis 5W, S+H

Esta metodología de interrogantes forma parte de una herramienta de análisis, está conformada por 6 interrogantes que buscan detallar las causas de un problema, estas interrogantes son las siguientes: (*qué*), (*por qué*), (*cuándo*), (*dónde*), (*quién*)+ (*cómo*). Como ejemplo de aplicación de la herramienta se propone el mejoramiento del empalme en *liner* externo de corrugadora, ver figura 56.

Figura 56. **Análisis 5W,s + H**

<b>Análisis 5W+S, Mejoramiento del empalme en liner externo</b>	
<i>Interrogante</i>	<i>Descripción</i>
<b>What (Qué)</b>	Aumento de la velocidad de empalme
<b>Why (Por qué)</b>	Aumento de productividad
<b>When (Cuándo)</b>	Primer trimestre 2020
<b>Where (Dónde)</b>	Liner Externo Corrugador
<b>Who (Quién)</b>	Personal de Proyectos
<b>How (Cómo)</b>	Sustitución del empalmador BHS por empalmador Fuma

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.8. Gráficos de control**

Esta herramienta aplicada a la mecánica se define como una gráfica estadística de control de un parámetro, precisión u holgura. Es funcional para determinar visualmente cuándo los parámetros de una máquina están comenzando a desfasarse de las especificaciones requeridas por producción, como ejemplo de aplicación se propone el desgaste sufrido en los rodillos corrugadores.

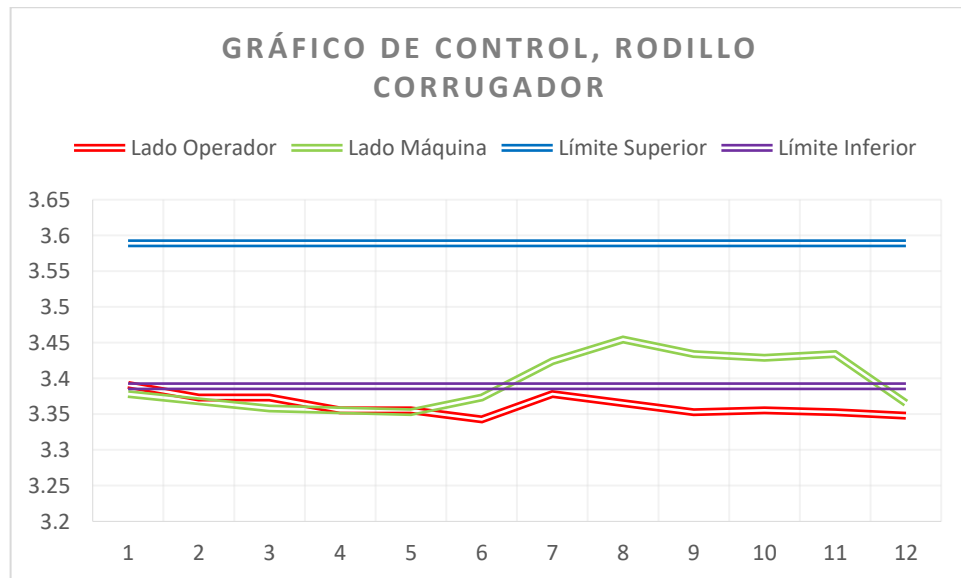
Estos rodillos van sufriendo desgaste durante toda su vida operativa debido al constante roce con el papel, la altura de cada onda de los rodillos se mide a través de un calibrador y no debe superar los 0,20 mm de la altura original de la onda del rodillo, como ejemplo de aplicación de la herramienta descrita se propone la figura 57 conjuntamente con su tabla de mediciones.

Figura 57. **Resultados de las mediciones de altura de onda de rodillo corrugador lado máquina y lado operador**

MASA INFERIOR												
ALTURAS LO, en mil	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	3.3909	3.37312	3.37312	3.35534	3.35534	3.34264	3.3782	3.3655	3.3528	3.35534	3.3528	3.34772
ALTURAS LM, en mil	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	3.3782	3.36804	3.35788	3.35534	3.3528	3.37312	3.42392	3.4544	3.43408	3.429	3.43408	3.3655
Límite Superior	3.589	3.589	3.589	3.589	3.589	3.589	3.589	3.589	3.589	3.589	3.589	3.589
Límite Inferior	3.389	3.389	3.389	3.389	3.389	3.389	3.389	3.389	3.389	3.389	3.389	3.389

Fuente: elaboración propia.

Figura 58. **Gráfico de control, desgaste en rodillo corrugador**



Fuente: elaboración propia.

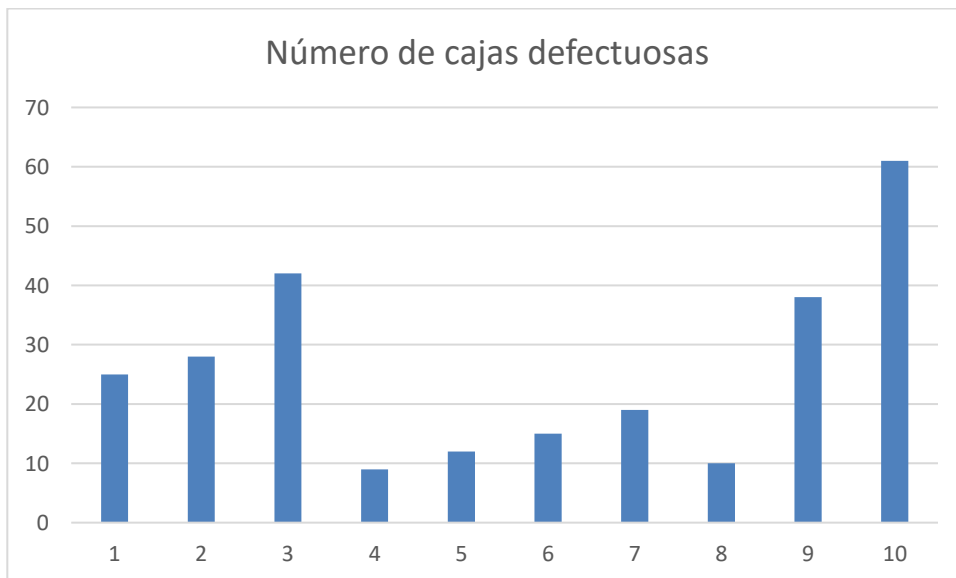
En la gráfica anterior se muestra el límite superior como la altura original de la onda del rodillo, 0,20 mm más abajo se encuentra el límite inferior y este

indica que es necesario comenzar con los preparativos de cambio del rodillo corrugador.

#### 4.1.9. Histogramas

Representación gráfica en forma de barras verticales, se utiliza cuando se posee una amplia base de datos y es necesario la comparación entre la frecuencia de cada evento, el eje X está definido por las actividades en comparación y el eje Y por la frecuencia de ocurrencia de cada actividad. Como ejemplo se tomará el número de cajas defectuosas producidas para un cliente A en el mismo lote producido. En ciertos eventos es necesario realizar la comparación entre las cajas defectuosas de diferentes clientes, el histograma es una ayuda fundamental en la interpretación de estos datos.

Figura 59. **Histograma del número de cajas defectuosas de un lote**



Fuente: elaboración propia.



#### **4.1.10. Diseño de un sistema de muestreo**

Para realizar una adecuada selección de la muestra estadística de una población es necesario seguir estos pasos:

- Definir con exactitud los objetivos.
- Definir la población o el lote de producto en análisis.
- Definir las herramientas estadísticas para recabar la información.
- Definir el nivel de confianza, el error aceptable de calidad y el tamaño de la muestra.
- Determinar el método de muestreo, no probabilístico y probabilístico.
- Si el muestreo fuere no probabilístico definir si es por juicio, por conveniencia o voluntariado.
- Si el muestreo fuere probabilístico definir si es sistemático, aleatorio simple, estratificado o por conglomeración.
- Iniciar con la recopilación de datos.
- Realizar una correcta base de datos y una adecuada tabulación de estos para una fácil interpretación.
- Selección de herramientas de interpretación y diagramación.
- Interpretación de resultados obtenidos de acuerdo con objetivos planteados al inicio.
- Toma de decisiones a partir de los resultados del muestreo estadístico.

##### **4.1.10.1. Muestreo experimental y sus resultados**

Subconjunto tomado de una población el cual permitirá de manera experimental realizar el ensayo de una hipótesis, comparando los resultados del ensayo con los resultados del planteamiento hipotético.

#### **4.1.10.2. Muestreo experimental y sus soluciones**

A diferencia del muestreo experimental y sus resultados, este busca tomar decisiones y cursos de acción en base a los resultados obtenidos del ensayo.

#### **4.1.10.3. Estandarización del método de muestreo en el proceso productivo**

Busca normar el tamaño de la muestra y recolección de datos de una línea de producción, como ejemplo sería el *check list* del número de cajas con impresión deficiente de un lote producido.

### **4.2. Interpretación de los datos recopilados**

Proceso mental que trata de interpretar los datos previamente visualizados a través de herramientas estadísticas. Se realiza una prueba estadística de aceptación o rechazo lote basado en la muestra analizada, la confianza y el nivel de error aceptable en la prueba de hipótesis o bien con tablas de muestreo estadístico de calidad.

#### **4.2.1. Solución a los puntos críticos establecidos**

Sistemas de control a implementar dependiendo de los resultados obtenidos durante un ensayo estadístico de los posibles factores de contaminación que puedan surgir durante un proceso.

Estas ideas de mitigación de los factores de contaminación pueden surgir de una lluvia de ideas y tiene como objetivo principal eliminar la probabilidad de ocurrencia de contaminación dentro del proceso de un producto.

### **4.3. Sistema de control de calidad en base a la interpretación del diagnóstico**

Consiste en la elaboración de procedimientos de monitoreo constante a los puntos de control previamente definidos, se deben cumplir las siguientes interrogantes: ¿Qué es lo que se debe observar o medir? ¿Cómo se observará y medirá? ¿Cuándo hay que observarlo o medirlo? ¿Quién o que será la parte encargada realizar la medición? Como ejemplo se propone un punto crítico de control al final de la línea de impresión de empaques primarios, este se encuentra controlado por un detector de metales, este, a su vez, se encuentra regulado bajo un estricto programa de mantenimiento con su respectivo registro y calibración.

#### **4.3.1. Gráficos de control**

Gráficos utilizados que nos permiten visualizar si una variable en análisis o un proceso se encuentra estable dentro de sus límites establecidos, se tomaran dos tipos de gráficos que pueden emplearse para llevar un adecuado seguimiento. A continuación, se detallarán los dos tipos de gráficos.

- Gráficos de control de variables: estas gráficas son empleadas para realizar comparaciones sobre un dato en puntual o específico, por ejemplo: la fluctuación de la presión de aire dentro de la línea de aire comprimido respecto a la presión ideal de trabajo.
- Gráficos de control por atributos: estas gráficas son empleadas para determinar características que no pueden medirse, por ejemplo: el criterio de aceptación para los defectos que pueda tener una caja de cartón, esta únicamente puede clasificarse como aceptable o defectuosa.

#### **4.3.2. Sistema de muestreo**

Conjunto de acciones que generan una selección aleatoria y cuyo propósito es buscar el estado actual de un proceso productivo, un lote de producción o un parámetro en análisis, con la finalidad de determinar si fue realizado según las normas, características o parámetros de conformidad establecidos.

#### **4.4. Nuevas rutinas de mantenimiento en los equipos que conforman el mejoramiento**

Rutinas establecidas basándose en el estado actual de los equipos.

##### **4.4.1. Porta bobinas**

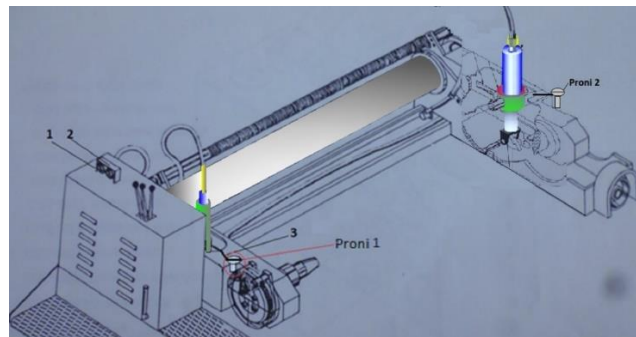
- Sistema eléctrico
  - Primero: revisión del estado físico del cable que conecta la caja de mando del lado operador con la polea y el cable del alumbrado eléctrico lado máquina, determinando posibles fallas por mal contacto, recubrimiento defectuoso o mal aislante.
  - Segundo: verificar que el tubo flexible que sale de la base de la polea y que se encuentra sobre la caja de mando en el lado operador se encuentre conectado correctamente, además de revisar que no presente daños físicos.
  - Tercero: revisión del sistema físico de alumbrado además de los colgantes del lado máquina, revisión de *switchs* de encendido y

apagado que se encuentran en la caja de mando verificando que no exista contacto falso.

- Cuarto: si es posible su reparación en el acto proceder, de lo contrario reportar realizando una orden de trabajo, realizar una limpieza de las superficies anteriormente descritas.
- Sistema neumático
  - Primero: revisión del regulador de presión y de flujo que se encuentra situado sobre el panel hidráulico, números 1 y 2. Verificar que estos estén regulando correctamente y no presente daños físicos.
  - Segundo: verificar que la manguera, racor, tubería, llave de paso y codos a 90° que se encuentra situado sobre la caja de mando en lado operador se encuentren libres de fugas, roturas, corrosión o desgaste.
  - Tercero: revisar que el acople que conecta la manguera anteriormente descrita con el suministro de alimentación de aire no se encuentre con fugas, desgastado o deformado.
  - Cuarto: revisar que la tubería que suministra el aire se encuentre pintado de color azul y no esté cascareado, deformado, desgastado, roto o corroído.
  - Quinto: verificar que la tubería de alimentación al poni 1 lado operador y la manguera de alimentación al poni 2 lado máquina, ambas no presenten fugas, deformaciones o rotura. Números 3 y 4.

- Sexto: si es posible su reparación en el acto proceder, de lo contrario reportar realizando una orden de trabajo. En caso de que no se presenten daños físicos o irregularidades, realizar una limpieza de las superficies anteriormente descritas en la siguiente figura.

Figura 60. **Distribución de componentes para un sistema de porta bobinas**



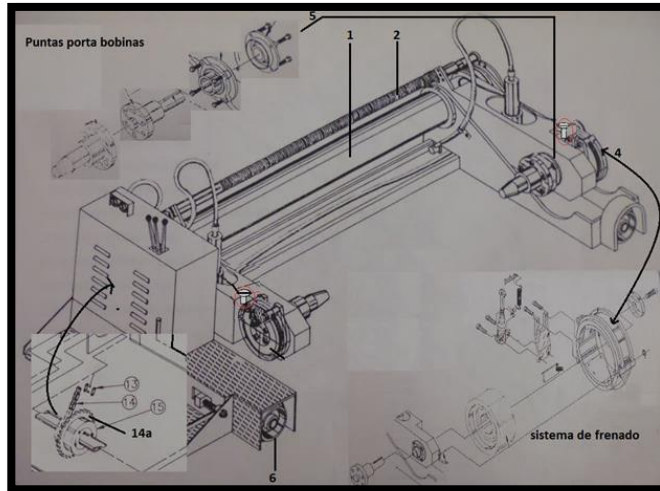
Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

- Sistema mecánico
  - Primero: verificar que el eje de desplazamiento (1) y el tornillo sin fin (2) no presenten fisuras o deformaciones.
  - Segundo: verificar que el sistema de engranes (14a), *sprockets* (15), cadena de tracción (14) se encuentren en estado operacional.
  - Tercero: verificar que los cojinetes de; las puntas de la porta bobinas (5), las ruedas (6) y el sistema de las puntas de los porta bobinas (7), no presenten abolladuras en el sello, desgaste,

corrosión y no le falte tornillos de ajuste, además de revisar la chumacera cada rodamiento.

- Cuarto: verificar que la base de cada chumacera este anclada correctamente a su superficie de apoyo, y que este no presente daños físicos.
- Quinto: revisar que no existan daños físicos o irregularidades en el mecanismo de frenado (4).
- Sexto: verificar que la fricción de trenzado situado entre la mordaza de frenado y el eje rotatorio no presente desgaste o daños físicos, además de realizar una inspección breve de las ruedas de la porta bobinas detectando deformaciones, desgaste o corrosión, inspeccionar también que las carrileras de estos se encuentren libres de cualquier obstáculo. Si es posible su reparación en el acto proceder, de lo contrario reportar realizando una orden de trabajo. En caso de que no se presenten daños físicos o irregularidades, realizar una limpieza de las superficies anteriormente descritas.

Figura 61. **Sistema mecánico de una porta bobinas**



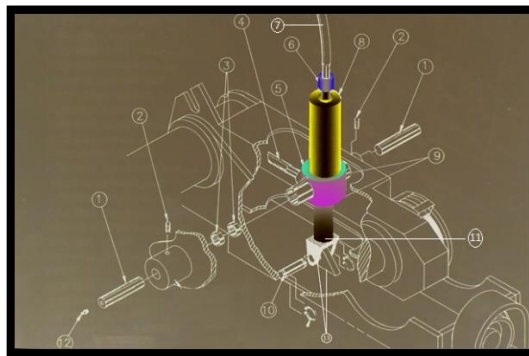
Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

- Sistema hidráulico
  - Primero: revisar bomba hidráulica, motor de bomba hidráulico y Distribuidor de aceite según la figura 49, de la verificación del estado de estos componentes, la bomba hidráulica se encuentra situada dentro del panel y el motor hidráulicos a un costado del tornillo sin fin, inspeccionando que no haya fugas por concepto hidráulico o daños físicos en su estructura.
  - Segundo: verificar que el estado físico del cilindro hidráulico se encuentre en perfecto estado; pin del cilindro (1), tornillo de reten (2), cojinete del muñón (3), muñón del cilindro (5), fusible de velocidad (6), parte ascensional del cilindro (8), retenedores (9), pin de pivote de vástago (10), vástago (11), colocador de grasa (12), apoyo de vástago (13), empaque, estanqueidad, pintura recúbrete, conector de manguera superior e inferior.



- Tercero: revisar las mangueras de alimentación (7) y manguera de retorno (4) de cada cilindro, 2 mangueras conectadas al motor hidráulico, mangueras y tuberías, situadas dentro del panel hidráulico y sus respectivos acoples de mangueras, regulador de presión y flujo.
  
- Cuarto: inspección física de las válvulas hidráulicas determinando posibles fugas o daños físicos en estos, *orings* y filtro hidráulico ubicado dentro del panel hidráulico. Si es posible su reparación en el acto proceder, de lo contrario reportar realizando una orden de trabajo. En caso de que no se presenten daños físicos o irregularidades, realizar una limpieza de las superficies anteriormente descritas.

Figura 62. **Cilindro hidráulico del brazo elevador de un portabobinas**



Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

- Sistema estructural
  - Primero: verificar que las siguientes superficies no presenten deformaciones, corrosión, roturas, abolladuras, falta de pintura e

incompletos; panel hidráulico (1), panel demando ubicada sobre el panel hidráulico, freno de control, estructura de soporte del operario (2), eje pivote (3), canal porta mangueras (4), protectores de ruedas (5), carrileras de las ruedas (6).

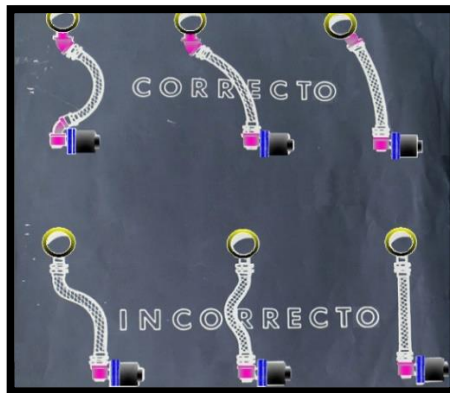
- Segundo: verificar que los 22 anclajes sujetadores de la estructura metálica ubicados en la pared se encuentran anclados perfectamente y en buen estado físico sin presencia de deformaciones, corrosión o roturas.
- Tercero: pintura; revisar que las superficies anteriormente descritas no se encuentren cascaredos, mal pintados. Si es posible su reparación en el acto proceder, de lo contrario reportar realizando una orden de trabajo. En caso de que no se presenten daños físicos o irregularidades, realizar una limpieza de las superficies anteriormente descritas.

#### **4.4.2. Precalentadores**

- Sistema de vapor
  - Primero: revisión del estado físico de la tubería que suministra el vapor a cada junta rotativa.
  - Segundo: revisar el estado actual del aislante térmico la tubería principal que suministra vapor ubicada en el lado motor, esto para evitar pérdidas de calor y el aumento de condensado dentro de la matriz principal.

- Tercero: verificar que la manguera de alimentación de vapor a la junta rotativa se encuentre colocado de la forma correcta según la figura 63.

Figura 63. **conexión correcta de una manguera de vapor**

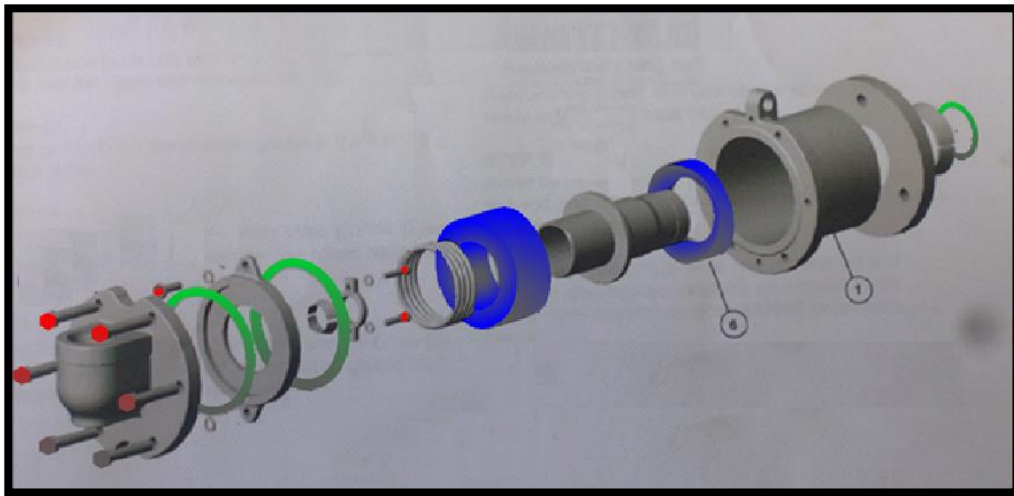


Fuente: FLUITER, Johnson. *Instrucciones de montaje y reparación de Junta Rotativa tipo R-RH (3/8" – 2")*.

- Junta rotativa
  - Primero; cerrar la entrada de la válvula de suministro de vapor.
  - Segundo: remover las turcas desde la pieza en forma de Q (1).
  - Tercero: la junta ahora está libre para su remoción de la máquina.
  - Cuarto: seguir el orden de desmantelado según la figura 64.
  - Quinto: revisión del estado físico del carbón (6), detectando posibles fisuras, desgaste o rotura.

- Sexto: verificar el desgaste de los carbones en caso de que presente fugas de vapor o condensado.
- Séptimo: si es posible su reparación en el acto proceder, de lo contrario realizar una orden de trabajo. En caso de que no haya daños físicos realizar una limpieza total de los componentes que conforman la junta rotativa.

Figura 64. **Parte interna de una junta rotativa Johnson**



Fuente: FLUITER, Jhonson. *Instrucciones de montaje y reparación de Junta Rotativa tipo R-RH (3/8" – 2")*.

#### 4.4.3. Flautas

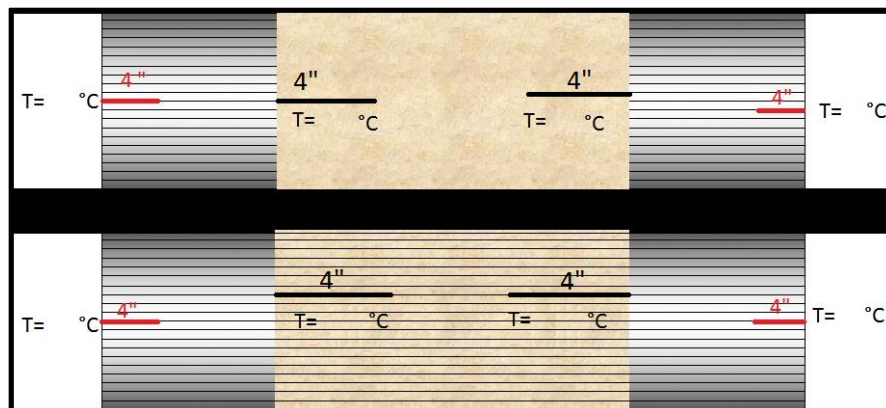
Para producir una alta calidad en la superficie del papel es necesario que los rodillos del corrugador alcancen una temperatura comprendida entre (170 a 187) °C. En caso de que no alcancen esta temperatura revisar si no se posee condensado dentro de los rodillos ondulados (revisar por el sifón), trampas de vapor y filtros.

Primero: medir la temperatura de los rodillos corrugadores superior e inferior con el procediendo siguiente: realizar la medición en los extremos de cada rodillo a aproximadamente 4 pulgadas del borde y anotar el dato en la figura, realizar otra medición en los bordes de la superficie de contacto del pliego a un aproximado de 4 pulgadas, realizar esta medición desde la parte trasera de la flauta.

Segundo: revisar que no existan fisuras o grietas en los árboles de transmisiones siguientes: rodillo de presión, rodillo corrugador inferior, rodillo engomadora, juntas de cada transmisión y engrane del rodillo corrugador inferior.

Tercero: verificar la altura del perfil con una galga, ver figura 65, en la siguiente página.

Figura 65. **Toma de temperatura de rodillos corrugadores**

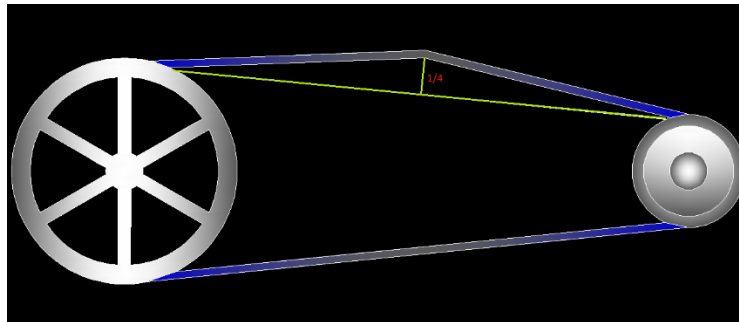


Fuente: elaboración propia.

- Sistema de vapor
  - Primero: revisar el estado físico del aislante de la tubería de suministro de vapor y retorno de condensado ubicado en el lado motor y operador.
  - Segundo: verificar en el acto si el aislante de la tubería de suministro de vapor tiene como mínimo una pulgada de espesor y el aislante de la tubería de retorno de condensado tiene como mínimo  $\frac{3}{4}$  de pulgada.
  - Tercero: inspección visual del estado físico de la tubería que suministra el vapor a cada junta rotativa verificando que no exista fugas o posibles daños.
  - Cuarto: verificar que cada manguera se encuentra colocado en la forma correcta según la figura proporcionada.
  - Quinto: inspección visual de la junta rotativa verificando que no existan fugas de vapor que conlleven a goteo.
  - Sexto: verificar el estado de la rejilla y remoción de la suciedad en los filtros, en cada trampa de vapor remover la suciedad del filtro.
  
- Acoplamiento de poleas
  - Primero: revisar el estado físico de las fajas detectando desgaste, deshilado, roturas, falta de tensión.

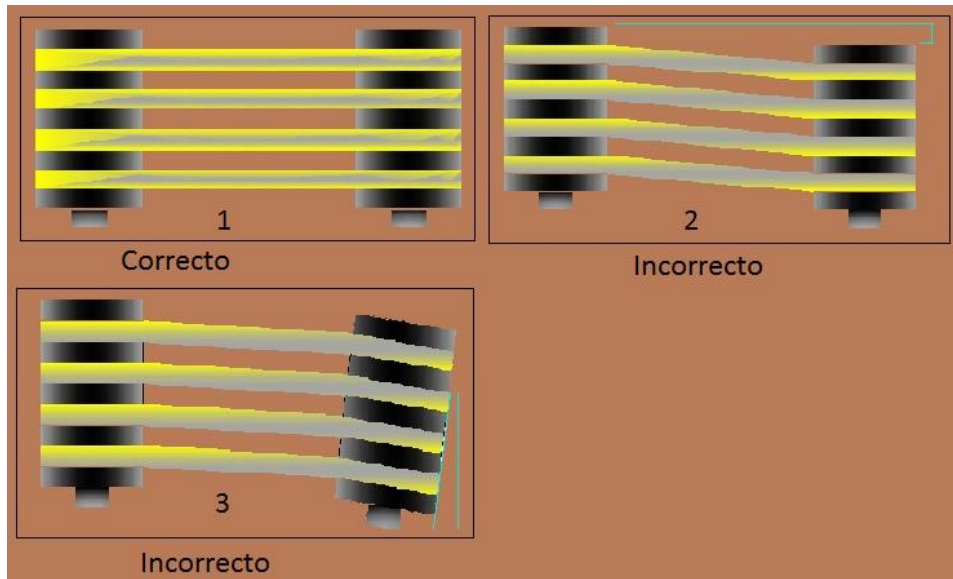
- Segundo: verificar que las fajas no estén mal conectadas conforme a la figura 66.
- Tercero: la tensión de cada faja no debe exceder de un cuarto de pulgada procediendo de la siguiente forma, medir un cuarto (1/4) de pulgada desde la posición recta ilustrada en la figura 66 y 67, tomando como referencia horizontal la faja paralela a la faja en medición.

Figura 66. **Medición de la tensión en una faja de transmisión de potencia**



Fuente: elaboración propia, realizado en AutoCAD.

Figura 67. **Correcta alineación de poleas**

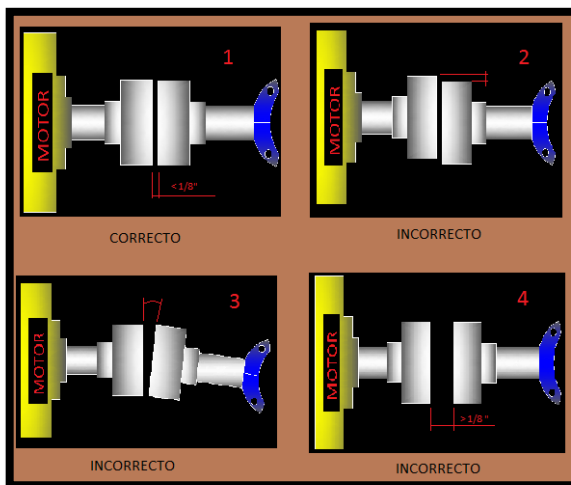


Fuente: elaboración propia, realizado en AutoCAD.

- Acoplamiento entre ejes
  - Primero: verificar que la holgura axial (1) sea menor a  $\frac{1}{8}$  de pulgada entre los acoplamientos de los ejes.
  - Segundo: verificar que no exista desalineación paralela (2).
  - Tercero: verificar que no exista desalineación angular (3), ver figura 68 en la siguiente página, correcto acoplamiento entre dos ejes.



Figura 68. **Correcto acoplamiento entre ejes**



Fuente: elaboración propia, realizado en AutoCAD.

- Temperatura del motor principal

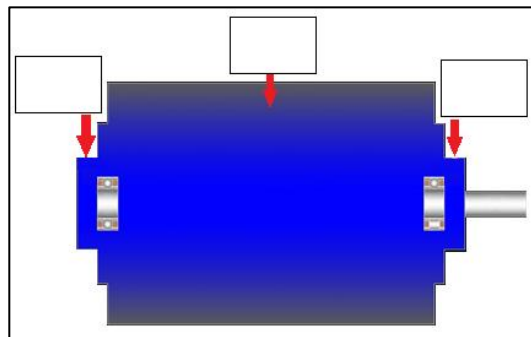
Como ejemplo se propone el motor principal del rodillo corrugado.

Datos:

- Tipo de aislante: F.
- Temperatura máxima soportada por el aislante: 180 °C.
- Primero: medir la temperatura ambiente y anotar el dato.
- Segundo: medir la temperatura en los tres puntos de la carcasa del motor siguiendo la figura y anotar.

- Tercero: determinar en el acto el promedio de los tres datos obtenidos y restarle la temperatura ambiente y verificar que este valor no excede de los 72 °C, en caso de que exceda de los 72 °C verificar en el siguiente orden: 1). Energía suministrada. 2) El compartimiento de escobillas. 3). Sistema de lubricación 4). Ejes mal acoplados y la caja reductora. 5). Desensamblar el motor y verificar el estado del aislante, cojinetes y colector.

Figura 69. **Puntos de medición de temperatura en un motor eléctrico**



Fuente: elaboración propia, realizado en AutoCAD.

- **Medición de la vibración en los motores eléctricos**

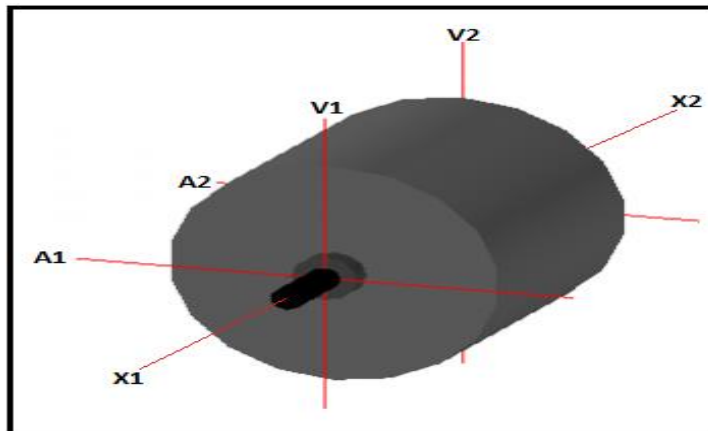
Para realizar una adecuada medición de vibraciones es necesario seguir los siguientes pasos, ver tabla VII y figura 70 en la siguiente página, puntos de medición de vibración en un motor eléctrico.

Tabla VII. **Ubicaciones de los puntos de medición de vibraciones en un motor eléctrico**

Vista parte frontal del motor	Vista parte trasera del motor.
Vertical= V1	Vertical= V2
Horizontal= A1	Horizontal= A2
Axial= X1	Axial= X

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

Figura 70. **Puntos de medición de vibración en un motor eléctrico (a)**



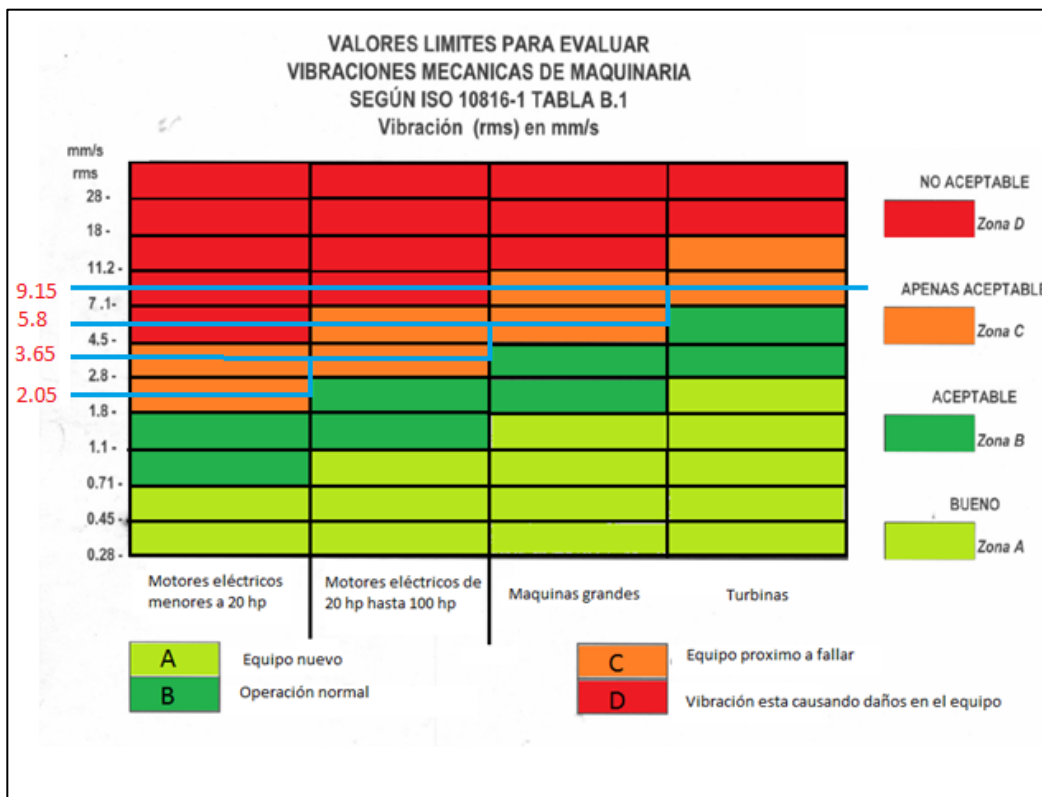
Fuente: elaboración propia, realizado en AutoCAD.

De acuerdo con las dos normas establecidas con anterioridad y las condiciones, se realiza el siguiente ejemplo con el motor de la siguiente descripción.

- Marca del motor: reliance
- Modelo: 1L805032T1

- Serie: mr014
- HP: 75

Figura 71. Puntos de medición de vibración en un motor eléctrico (b)



Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

- Resultado: la zona de confiabilidad de operación para el motor de la flauta debe poseer una velocidad de vibración menor a 3,65 mm/s.

#### **4.4.4. Empalmadoras**

- Primero: revisión del estado físico de la tubería principal de suministro de aire comprimido y sus accesorios determinando fugas neumáticas.
- Segundo: revisión de las distintas mangueras neumáticas ubicadas en el lado motor del equipo, a todo lo largo de la empalmadora, detectando posibles fugas de aire comprimido en los racores de entrada a las electroválvulas.
- Tercero: verificar si no presenta destilación de agua las electroválvulas debido al condensado que se produce dentro de la tubería de aire comprimido.
- Cuarto: verificar el estado de los manómetros que se contengan en esta área, existe uno en el lado motor y otros en el lado operador, verificar en el acto si coincide las presiones entre estos, si no determinar el estado de operación de estos.
- Quinto: revisión del estado físico de los cilindros neumáticos tanto el vástago como el cuerpo del cilindro, si es posible determinar en el acto el estado físico de los sellos tanto el interno como el externo proceder a ello.

En caso de que todos estos componentes anteriormente descritos se encuentran en perfecto estado de operación realizar la limpieza.

#### **4.4.5. Elevadores**

- Primero: revisión de paralelismo entre ambos rodillos tensores, para ello utilizar la cinta métrica de metal.

- Segundo: verificar que los sellos de cada rodamiento de ambos rodillos se encuentren en buen estado, de lo contrario proceder a informar a la persona encargada de mantenimiento.
- Tercero: verificar el estado físico de la banda de tracción que arropa ambos rodillos, verificar la unión en el empalme y definir en el acto si es considerable el desgaste presentado por la banda.

#### **4.4.6. Engomadoras**

- Primero: limpieza en el área de trabajo.
- Segundo: limpieza de flotadores y medidores de nivel en cada tanque de recuperación de goma.
- Tercero: verificar que cada manguera de traslado de goma no posea desgaste alguno y verificar el estado de cada abrazadera en ambos extremos.

#### **4.4.7. Mesa de secado**

- Primero: inspección de fugas de aire en los racores de cada cilindro neumático que posea la mesa de secado.
- Segundo: inspeccionar la temperatura de cada plancha de calefacción que posee, verificar con el pirómetro si cada plancha se encuentra arriba de los 85 °C, de lo contrario informar al encargado de mantenimiento para que evacue el condensado dentro de ellas.
- Tercero: nivelar cada pie pisador para que exista una presión uniforme en toda la mesa.

#### **4.4.8. Banda de tracción**

- Primero: revisión del estado físico de la lona de tracción y verificar el empalme en ambas puntas, definir en el acto el estado actual del empalme, informar al encargado de mantenimiento el estado de este y llevar un registro fotográfico de la degradación del empalme y el gancho de agarre de ambos extremos.

#### **4.4.9. Cortadora *Stacker***

- Primero: revisión física de las cadenas de elevación de la camilla, llevar el control estadístico de la elongación de cada eslabón que la conforma.
- Segundo: monitoreo de la temperatura de cada unidad de aceite hidráulico, validar que se encuentre cercano a los 45 °C, en caso de que la temperatura excediera de los 55 °C, informar a la persona encargada de mantenimiento.
- Tercero: revisión del estado físico de las ruedas *non-crush* de la salida y entrada de cada *stacker*, verificar si físicamente están aptas para realizar el pisoteo de las láminas de cartón que ingresan al *stacker*.
- Cuarto: limpieza diaria de los rodamientos de cada eje de tracción de la banda, remover con la aspiradora el polvillo que se deposita en los sellos y en las puntas graseras de cada rodamiento, remover con una aguja el polvillo que se encuentra en el ingreso de cada punta grasera de los rodamientos.

#### **4.4.10. Cocina de adhesivo**

- Primero: revisión del estado físico de las mangueras de alimentación de goma hacia la línea de corrugado, definir en el acto si no posee desgaste

cada manguera debido al movimiento del bombeo de la goma, en caso de que presente proceder al cambio inmediato de este.

- Segundo: revisión de cada abrazadera de cada manguera validar en el acto que estas no posean fugas en sus extremos, si es posible la colocación de abrazadera tipo doble proceder al cambio.
- Tercero: limpieza interna de cada tubería y manguera de alimentación de goma hacia la línea de corrugado, realizar esta limpieza luego de cada jornada de trabajo.
- Cuarto: remover con una aspiradora el polvillo producido por el almidón sobre cada motor agitador de los tanques de preparación, para este caso validar que los motores se encuentren en funcionamiento óptimo y fuera de cualquiera irregularidad como sobrecalentamiento, exagerada vibración y consumo excesivo de corriente alterna.

#### **4.4.11. Carro de transferencia**

- Primero: verificación del estado físico de las cuatro ruedas de caucho y validar la degradación de cada uno de estos.
- Segundo: validar el estado físico del eje cardan que posee, determinando posibles fisuras o flexiones pronunciadas en el árbol de transmisión.
- Tercero: verificar el estado físico de los engranes de plástico que brinda tracción a cada banda plástica dentada y verificar el estado físico de la banda plástica buscando fisuras presentadas en el lado interno que se encuentra en contacto con el engrane de plástico.

#### **4.4.12. Cajas reductoras**

- Primero: validar visualmente que el motor se encuentre sin funcionamiento.



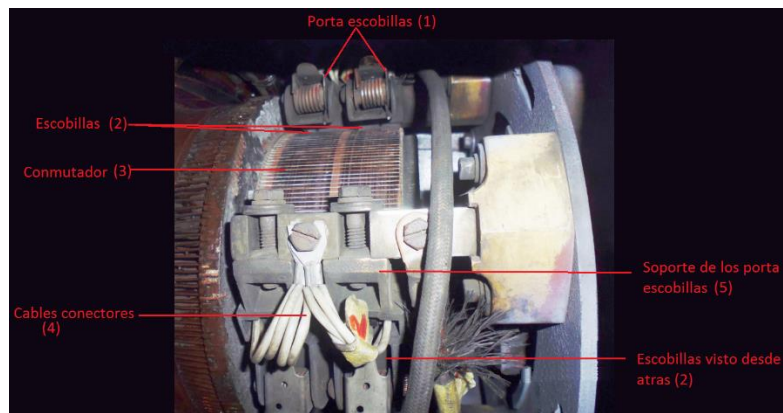
- Segundo: ubicar a la persona encargada de mantenimiento para desconectar cualquier alimentación eléctrica hacia el motor interconectado a la caja reductora a revisar.
- Tercero: ubicar el tapón de drenado de aceite en la parte inferior de la carcasa de cada caja reductora y remover el aceite lubricante del sistema de engranes.
- Cuarto: remover el tapón de inspección el cual se encuentra en la parte superior de cada caja reductora y verificar visualmente el estado de los engranes que se encuentren en el interior de este.
- Quinto: verificar en el acto que no existan residuos de materiales ajenos al sistema de engranes que puedan dañar el estado físico de estos.
- Sexto: colocar el tapón de drenado de aceite e informar a la persona de mantenimiento para que proceda con la nueva lubricación de cada caja reductora inspeccionada.
- Séptimo: limpieza superficial con *wipe* y del área sobre el cual se trabajó.

#### **4.4.13. Motores**

- Primero: verificar que el motor se encuentre sin funcionamiento.
- Segundo: validar con la persona encargada de mantenimiento que no haya ningún tipo de alimentación eléctrica hacia este.
- Tercero: el compartimiento se encuentra ubicado visto desde arriba, en la parte trasera del motor lateral izquierdo. Con una aspiradora remover el polvo de las escobillas (2) hacia afuera del motor.
- Cuarto: los anillos colectores (3) deben ser limpiados con un paño limpio y seco que no suelte hilachas, para este caso no se debe utilizar *wipe* ni tampoco solvente para no dañar las escobillas y los anillos del colector al momento de operar.

- Quinto: verificar que los siguientes componentes no presenten daños físicos: porta-escobillas (1), desgaste de las escobillas (2), soporte del porta-escobillas (5), falso contacto en los cables conectores (4). Detectando mal posicionamiento, ruptura, deformaciones o fisuras.
- Sexto: si es posible verificar que las escobillas (2) se encuentran situados radialmente y con un máximo de separación de 4 mm sobre la superficie de contacto para evitar futuras rupturas.

Figura 72. **Compartimiento de escobillas**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.14. Variadores de motores

- Primero: inspección visual superficial, en caso de que ya se encuentre con presencia de polvillo de cartón informar hacia la persona encargada de mantenimiento de línea para su programación de limpieza.

#### **4.4.15. Tableros eléctricos principales**

- Primero: inspección visual superficial, en caso de que ya se encuentre con presencia de polvillo de cartón informar hacia la persona encargada de mantenimiento de línea para desactivación y limpieza.

#### **4.4.16. Cajas de conexión**

- Primero: inspección visual superficial, en caso de que ya se encuentre con presencia de polvillo de cartón, informar hacia la persona encargada de mantenimiento de línea para su mantenimiento correspondiente.

### **4.5. Capacitación en base a las rutinas establecidas**

Conjunto de actividades que buscan incrementar los conocimientos didácticos de una persona a través de herramientas preestablecidas tales como: visual, sonoro o combinación de ambos.

#### **4.5.1. Capacitación de los operarios**

En todo programa de capacitación además de la parte técnica, es conveniente agregar la educación en ética y valores. El objetivo es crear conciencia sobre el trabajo bien hecho, la prudencia, la responsabilidad, confianza, retroalimentación sobre los problemas encontrados, fortaleza para continuar en la búsqueda de la mejor solución cuando se encuentran muchas dificultades en una falla de maquinaria, estudio e investigación para encontrar las soluciones técnicamente profesionales.

**Figura 73. Capacitación de operadores sobre la operación de equipo de corte**



Fuente: elaboración propia, Empresa Sirio. Chimaltenango, Guatemala.

#### **4.5.2. Capacitación de los mecánicos**

Como sugerencia se busca la capacitación del personal de mantenimiento 1 hora semanal, durante 4 semanas, esto para no intervenir directamente dentro de la programación de mantenimiento. Esta capacitación puede ser generada por los líderes de cada equipo de trabajo incluyendo la inducción a valores y responsabilidades morales.

#### **4.6. Costos**

Desembolso que se realiza en el proceso de la fabricación de un producto o servicio por realizar.

#### 4.6.1. Costos directos

Son aquellos costos que se encuentran en contacto directo con el producto, tales como: materia prima, transporte interno de bobinas, mano de obra operacional y mecánicamente.

Figura 74. Costos directos de producción de una lámina de cartón

Costos Directos de producir una lamina de cartón	Forma de mensurar
Transporte de bobinas	Km/Ton
Combustible	Gal/Ton
Agua	Gal/Ton
Gas	Gal/Ton
Aire	Cfm/Ton
Almidon y sus componentes	Gal/Ton
Descarga de bobinas	Servicio mensual
Mano de obra operacional	\$/Ton
Mano de obra mecánica	\$/Ton

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

#### 4.6.2. Costos indirectos

Son aquellos costos que no se encuentran en contacto directo con el producto, siendo estas las siguientes: salarios administrativos, alquileres de equipos, proyectos de mejora, alquileres de bodega, capacitaciones y seguridad industrial.

#### 4.6.3. Costos de mano de obra

Estos costos son los que se encuentran directamente relacionados con los operadores de la línea de cartón corrugado, se describen en la figura 75.

Figura 75. **Costos de mano de obra de la línea de corrugado**

<b>Costos de mano de obra, corrugador</b>	<b>Forma de mensurar</b>
Operador de cadera	Salario Devengado/mes
Operador de cocina de goma	Salario Devengado/mes
Operador de montacargas que alimenta la línea de producción	Salario Devengado/mes
Operador de portabobinas	Salario Devengado/mes
Operador de Single facer	Salario Devengado/mes
Operador de glue machine	Salario Devengado/mes
Operador de slitter	Salario Devengado/mes
operador de cutt off	Salario Devengado/mes
Operador de stacker	Salario Devengado/mes

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

#### **4.6.4. Costos de mantenimiento**

Este costo se refiere a las acciones que un mecánico realiza para conservar la integridad de una máquina y asegurar la confiabilidad de una línea de producción.

Dentro de una línea de corrugado están las siguientes máquinas las que posee mayor intervención por: fuga de vapor en mesa de secado, daño en rodamientos de flautas corrugadoras, desgaste en mecanismos de aplicación de goma, mangueras desgastadas en unidades hidráulicas de levante, daño en sensores de proximidad, sobrecalentamiento de variadores eléctricos por el trabajo continua. Ver figura76, distribución de costos de mantenimiento.

Figura 76. **Costos por mantenimiento**

<b>Costos por mantenimiento</b>	<b>Forma de mensurar</b>
Mecánico-Eléctrico	Salario Devengado/mes
Mecánico-Eléctrico	Salario Devengado/mes
Repuestos de equipos	\$/mes
Insumos y consumibles	\$/mes
Torno y fresadora	\$/mes
Adquisición de nuevos equipos	\$/mes
Renta de montacargas para montaje de equipos	\$/mes

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

#### 4.6.5. **Costos por mantenimiento defectuoso**

Se tomará como ejemplo el mantenimiento defectuoso de un rodamiento de un rodillo corrugador, siendo estas las siguientes: mala calidad en láminas producidas, daño en engranes o directamente el rodillo, aumento de repuestos utilizados, paradas de línea no planificadas, atraso de pedidos.

Figura 77. **Costos por mantenimiento defectuoso**

<b>Costos por mantenimiento defectuoso de un rodamiento del rodillo corrugador</b>	
<b>items principales</b>	<b>Costo en dolares USD</b>
Desperdicio producido	\$0.20/kg
Costo del rodillo corrugador	\$45000
Costo del rodamiento de doble tamb	\$3000
Costo por paradas no planificadas	\$375/min

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

#### **4.6.6. Costos de insumos y materiales por utilizar**

El costo de insumos y materiales a utilizar dentro de las rutinas de mantenimiento de la planta representa el 4 % del costo total por mantenimiento, como ejemplo podemos tomar los insumos para el mantenimiento del compresor: *wype*, discos de corte, lija, lentes, limpia contactos, solventes y empaques.

#### **4.6.7. Costos por tiempo perdido**

El costo por tiempo perdido hace referencia al tiempo por mala coordinación, falta de repuestos no identificados previamente, insumos insuficientes, daños no contemplados, personal mecánico ocupado en otra falla, piezas torneadas deficientemente, falla eléctrica sin lograr identificar, desconocimiento de programación de variadores, repuestos deficientes o incompletos.

#### **4.6.8. Costos por capacitación**

El principal recurso para la empresa radica en su personal, por ello es indispensable las distintas jornadas de capacitación, tales como: habilidades blandas y técnicas, inducción a puestos y sistemas de gestión.

El costo por capacitación se define como la suma de horas impartidas multiplicado por el costo de cada hora.



Figura 78. Horas de capacitación de octubre



Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

#### 4.6.9. Costos por adaptar el equipo

Este costo hace énfasis en la instalación de un equipo para mejorar la calidad o aumentar la producción actual, existen distintos tipos equipos que se pueden adaptar dentro de una línea de corrugado, son los siguientes: adaptación de rodillos compensadores, precalentadores, empalmadoras, guidores y *singlesfacer*, cada una de ellas se realiza un montaje diferente y costos diferentes.

Como propuesta se plantea en la figura 79 en la siguiente página, el costo de montaje de un equipo principal dentro de la línea de corrugado y el porcentaje de incremento de producción.

Figura 79. **Adaptación de un ModulFacer Flauta A y E**

Montaje de Modul Facer BHS	
Actividad	Costo
Adquisición de equipo Modul Facer BHS	\$ 90,000.00
Transporte Marítimo de equipo	\$ 10,000.00
Descarga de equipo en planta	\$ 3,000.00
Cimentación de equipo Modul Facer BHS	\$ 25,000.00
Rodillos corrugadores de repuestos de Modul Facer BHS	\$ 40,000.00
Mano de obra y puesta en marcha	\$ 10,000.00
Venta de repuestos de rodillos de S&S, equipo actual	\$ 20,000.00
Venta de single Facer S&S, equipo actual	\$ 20,000.00
<b>Total a invertir</b>	<b>\$ 138,000.00</b>

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

Realizando la inversión propuesta en el cuadro anterior se puede observar un incremento de 43 % en la producción, debido al incremento de la velocidad de trabajo.

Figura 80. **Comparación del modelo actual de producción y el modelo propuesto**

Comparación de producción de un cabezal corrugador		
Mediciones	Modelo S&S, actual	Modelo propuesto MFII/ BHS
Velocidad de producción lineal SF	90 metros/minuto	160 metros/minuto
Ancho de trabajo de maquina	2500 mm	2500 mm
Metros cuadrados producidos	225 m <sup>2</sup> /min	400 m <sup>2</sup> /min
<b>% de aumento de producción</b>		<b>43%</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.6.10. Costos por operación del equipo

El costo por operación de equipos se basa en las horas/hombres por turno laborado dentro de la línea de corrugado, siendo estas, *single facers*, empalmadoras, torre de precalentadores, pre calentadores, *stacker*, supervisores y unidad engomadora, ver figura 81, distribución de operadores en cada equipo de la línea de corrugado.

Figura 81. Número de operadores requeridos en la línea de corrugado

Equipo operado	Número de operadores	Forma de mensurar
Cocina de almidon	1	\$/hora trabajado
Single Facer CC1	1	\$/hora trabajado
Single Facer CC2	1	\$/hora trabajado
Empalmador liner externo, interno y midium	2	\$/hora trabajado
Torre de precalentador y GM	2	\$/hora trabajado
Stacker	2	\$/hora trabajado
Supervisor	1	\$/hora trabajado
Total	10	\$/hora totales trabajados

Fuente: elaboración propia, con información proporcionada por la empresa.

#### 4.6.11. Costos por seguridad industrial

Los costos por seguridad industrial juegan un papel muy importante en la conservación de la integridad física y emocional de los empleados, dentro de los principales costos se encuentran los siguientes: capacitación de brigada industrial, capacitación de líderes de seguridad y salud ocupacional, guardamotores y señalización industrial.

#### **4.7. Estándares establecidos**

Los estándares establecidos se limitan a rutinas de mantenimiento correctivo. Durante la aplicación del presente trabajo se podrán determinar los estándares iniciales y los métodos de mejora continua.

## **5. MEJORA CONTINUA O SEGUIMIENTO**

### **5.1. Resultados**

Como resultados obtenidos al presente trabajo se llevaron a cabo las siguientes mejoras:

- Aumento en la confiabilidad del proceso
- Reducción del tiempo perdido por avería
- Reducción de inventario de repuestos
- Reducción de las horas extras laboradas
- Programación de nuevas rutinas de mantenimiento

#### **5.1.1. Interpretación**

Confiabilidad del proceso: al tener en cuenta el factor de inspección de componentes de cada equipo, se determina con anticipación una falla no prevista que pueda afectar el flujo del proceso de corrugado.

Reducción del tiempo perdido por avería: luego de tener un daño previsto se reduce el tiempo de reparación debido a que se poseen los repuestos, herramientas y personal disponible para la reparación. Reducción de inventario de repuestos: forma una parte importante dentro del mantenimiento de los equipos ya que al tener monitoreados las fallas, es posible anticiparse en buscar con un tiempo prudente dichos repuestos y no mantener un *stock* en caso de presentarse una avería.

Reducción de horas extras laboradas: derivan de los daños no previstos dentro de la línea de producción y compromisos de producción-entrega hacia los clientes

Programación de nuevas rutinas de mantenimiento: de diseño debido a la carencia de una rutina de mantenimiento donde incluye personal operativo.

### **5.1.2. Alcance**

El proceso del cartón corrugado se divide en 4 procesos importantes, siendo los siguientes:

Pedido de materia prima: logística y recepción de bobinas de papel, cada bobina de papel se pide de acuerdo con la programación de ventas.

Proceso de corrugación: este proceso consta de varias etapas, siendo las siguientes: revisión de humedad de la bobina de papel, remoción de la humedad de la bobina de papel, ondulación, pegado, secado y corte.

Proceso de impresión: consta de la impresión del logo, troquelado para ventilación y fleje del bulto que conforman los paquetes de 25 cajas

Despacho, logística y entrega de producto terminado: la recepción de producto terminado se hace a través del traslado de las tarimas hacia la bodega de almacén temporal por medio de montacargas, la logística forma parte de la gestión de ventas y la entrega del producto terminado se realiza a través de la subcontratación de una firma de transportes.

El presente trabajo se enfoca únicamente al proceso de corrugación, analizando el proceso y las principales causas de fallas que producen paros no programados dentro de la línea de corrugado.

## **5.2. Identificación de factores de pérdidas**

Los principales factores de pérdidas encontradas durante la realización del presente trabajo son los siguientes:

- Mantenimiento correctivo
- Remoción incorrecta de la humedad
- Alineación de papeles
- Calidad del pegado de la mesa de secado
- Falla en el corte de la lámina de cartón

A lo largo del proceso de corrugado se pueden observar estos factores que se convierten en pérdidas por mala producción y calidad.

### **5.2.1. *Check list* predefinido en base a las posibles pérdidas**

La línea de corrugado se compone de varias etapas, el presente *checklist* se encuentra diseñado para realizar la inspección conforme avanza el proceso. Ver figura 82, hoja de verificación de la línea de corrugado.

Figura 82. **Verificación de estado de la línea de corrugado**

<b>Hoja de verificación de línea de corrugado</b>			
Fecha:			
Tecnico:			
Hora:			
<b>Área</b>	<b>Excelente</b>	<b>Deficiente</b>	<b>Observaciones</b>
Portabobinas:			
Empalmadores:			
Corrugadores:			
Precalentadores:			
Alineador:			
Engomador:			
Mesa de secado:			
Slitter:			
Cut off:			
Stacker:			
Revisado por: _____			

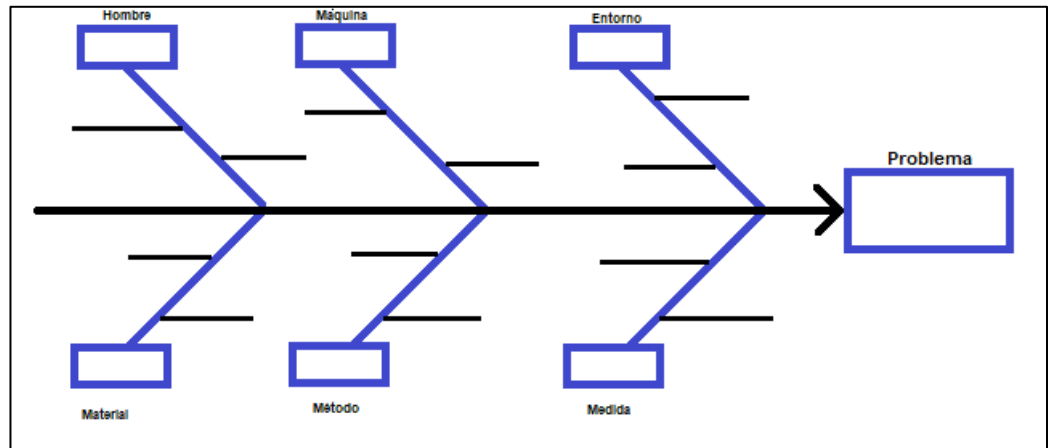
Fuente: elaboración propia.

### 5.2.2. Diagrama causa efecto

Básicamente consiste en relacionar seis puntos importantes con un problema, cada uno de estos seis puntos proporciona una perspectiva diferente que puede llegar a afectar un objeto en estudio, por la forma de esta gráfica es relacionado con la columna vertebral de un pescado o también llamado diagrama de Ishikawa. Ver figura 83 en la siguiente página, diagrama de causa y efecto.



Figura 83. Diagrama de causa efecto predefinido



Fuente: elaboración propia.

### 5.2.3. Interpretación de resultados

- Mantenimiento correctivo: perdida de horas de producción debido a reparaciones no contempladas.
- Remoción incorrecta de la humedad: debido al mal arropamiento del papel detrás del precalentador se genera una remoción incorrecta de la humedad, esto conlleva a un mal pegado de los papeles, produciendo desperdicio de papel.
- Alineación de papeles: la alineación de papeles juega un papel muy importante ya que al momento de realizar el pegado se genera un desperdicio en los extremos, este desperdicio es llamado trim.
- Calidad del pegado de la mesa de secado: el mal pegado dentro de la mesa de secado produce desperdicio, las principales causas son las

siguientes: falta de calibración de rodillos aplicadores de goma, rodamientos con desgaste, paralelismo entre rodillos aplicadores, falta de presión en las planchas de calefacción.

Falla en el corte de la lámina de cartón: juega un papel muy importante en el proceso final de corrugación ya que un mal corte genera desperdicio, el corte es realizado por una cuchilla helicoidal que gira a altas revoluciones, un mal ajuste o daño en los rodamientos produce un desfase en el corte, generando desperdicio de láminas en buen estado, pero con medidas diferentes a la solicitada por el cliente.

#### **5.2.4. Soluciones predefinidas**

- Mantenimiento correctivo: como proyecto de mejora continua se busca reducir el tiempo perdido a través de la creación del plan maestro de mantenimiento predictivo.
- Remoción incorrecta de la humedad: a través de una muy buena calidad del vapor y una supervisión adecuada de los precalentadores es posible llevar a cabo una correcta transferencia de calor, para este caso es necesario alcanzar los 180 °C de temperatura de los precalentadores y rodillos corrugadores.
- Alineación de papeles: se recomienda la limpieza constante de las cámaras alineadoras de papel y revisión constante de los sensores de límite para reducir desperdicio de materia prima.
- Calidad del pegado de la mesa de secado: limpieza constante de la lona superior e inferior, medición y revisión de desgaste en los extremos,

revisión diaria de la calidad de vapor que ingresa hacia las planchas de calefacción a través de la medición de la temperatura de contacto.

- Falla en el corte de la lámina de cartón: revisión mensual del desgaste de los siguientes: engranes, cuchillas, rodamientos, juego del eje del rotor, vibración del motor y desgaste de bandas.

### **5.3. Mantenimiento autónomo**

Básicamente consiste en implementar rutinas sencillas de mantenimiento dentro de las rutinas de los operadores, en las cuales resaltan los siguientes: Descubrir las causas de la suciedad, fallas y fugas, inspección, vigilancia de parámetros y por último cumplimiento.

#### **5.3.1. En base a los posibles factores de pérdida preestablecidos**

- Remoción incorrecta de la humedad: evacuación diaria del condensado antes de iniciar el turno de producción, realizar la evacuación manual por falta de presión inicial.
- Alineación de papeles: limpieza diaria de los lentes de las cámaras comparadoras de alineación y revisión de los o-rings de los cilindros neumáticos.
- Calidad del pegado de la mesa de secado: revisar una vez por semana el paralelismo entre rodillos aplicadores de la doble engomadora, la máxima tolerancia debe ser de 1 mm.

- Falla en el corte de la lámina de cartón: revisar con la cámara termográfica el comportamiento de los engranes y rodamientos de la zona de corte.

### **5.3.2. Alcance de las soluciones**

Con estas rutinas básicas de mantenimiento que serán asignadas a los operadores, se pretende disminuir las horas de paros generadas por los mantenimientos correctivos, adicional a esto inculcar la cultura de limpieza por parte de los operadores dentro de la línea de producción.

## CONCLUSIONES

1. Se desarrolla un plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM) junto con los técnicos del equipo de mantenimiento, este plan se describe en el capítulo 3 del presente trabajo. Se tomó en cuenta la experiencia de cada electromecánico para desarrollar de la mejor manera el plan de mantenimiento.
2. Es necesario poner en práctica el plan de mantenimiento desarrollado en el presente trabajo, esto para definir la eficacia del plan propuesto.
3. Se gestionó para mejorar las condiciones de seguridad industrial en las zonas de la línea de corrugado, tales como pasamanos, guardas para motores, identificación de tubería de alta presión y zonas de paso. Ver fotografías en apéndices.
4. Es necesario presupuestar a largo plazo la renovación de las condiciones de suministro de aire comprimido para mejorar la presión neumática de los pisadores de la mesa de secado, las altas horas trabajadas de los compresores actuales crean una fluctuación en la presión de línea, produciendo defectos por un mal pegado en la lámina de cartón por falta de presión, se propone la compra de 3 compresores basado en el consumo de la planta. Ver propuesta en anexos.
5. Se analizaron los tiempos de paro de máquina del estado actual de la línea y se proponen las herramientas estadísticas en el capítulo cuatro

del presente trabajo para una adecuada interpretación de los datos y apoyo en la toma de decisiones.

6. Dentro del plan de mantenimiento propuesto se aplicaron los elementos de medición, lectura, monitoreo y control de los distintos equipos que conforman la línea de corrugado, para mayor detalle ver el capítulo cuatro del presente trabajo.
7. Dentro de las herramientas de análisis del área de mantenimiento no se posee analizador de vibraciones y reconocimiento termográfico, por lo cual se propone un plan de manejo de equipos de prevención de fallas a través de una cámara termográfica y un análisis de vibraciones para futuras aplicaciones, ver propuesta en apéndices.
8. Actualmente la planta se encuentra en proyecto del manejo interno de descarga de afluentes, este proyecto consta de un filtro tipo prensa por el cual los distintos afluentes serán tratados. En la actualidad los desechos de afluentes son extraídos en cisternas a través de empresas terceras certificadas que ofrecen este tipo de servicios.
9. Los programas de capacitaciones son otorgados y avalados por el departamento de Recursos Humanos, para realizar la evaluación es necesario la aprobación de la alta gerencia.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar la compra de una empalmadora con mejor velocidad de empalme en el *liner* externo, esto ayudará al aumento de producción ya que no sería necesario reducir la velocidad de producción para realizar el empalme de papeles.
2. Comprar un análisis de vibraciones para reducir el tiempo de paro por mantenimiento correctivo en motores eléctricos principales. Con este equipo es posible detectar el incremento de vibración por un daño en rodamientos internos de motores principales.
3. Realizar análisis de humos en calderas ya que durante el turno de producción representa humos oscuros durante su funcionamiento.
4. Buscar estrategias que busquen incentivar al colaborador en reducir los desperdicios y aumento de producción.
5. Implementar un programa de mejora continua en los servicios de vapor, aire comprimido, transporte y contratistas con el fin de reducir costos de servicios cargados a mantenimiento.
6. Seguir con la mejora continua de infraestructura de maquinaria como apoyo en el bienestar del colaborador.
7. Crear de un plan maestro de mantenimiento anual basado en la recopilación estadística del año anterior.

8. Implantar un programa de capacitación anual de todo el personal de mantenimiento, basado en las experiencias que la gerencia de mantenimiento acumule durante el año.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Andritz, J. *Manual de operación y mantenimiento para turbina Pelton en Hidroeléctrica El Recreo*. Austria: Prentice Hall. 2012. 36 p.
2. ALCÁNTARA ARROYAVE, David Estuardo. *Modelo del comportamiento de presas en cascada y visualización por software*. Trabajo de Graduación de Ing. Electricista. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2009. 180 p.
3. Centro de Formación Técnica para la Industria. *Mantenimiento preventivo Industrial*. [en línea]. <<https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-productivo-total-tpm/>>. [Consulta: diciembre de 2016].
4. CHÁVEZ ROSALES, Vinicio Enrique. *Reacondicionamiento de turbina Francis de hidroeléctrica Zunil, Municipalidad de Quetzaltenango*. Trabajo de Graduación de Ing. Mecánico. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2013. 88 p.





Apéndice 2. **Tabla dirigida hacia operadores**

<b>Hoja de verificación de línea de corrugado</b>			
Fecha:			
Tecnico:			
Hora:			
<b>Área</b>	<b>Excelente</b>	<b>Deficiente</b>	<b>Observaciones</b>
Portabobinas:			
Empalmadores:			
Corrugadores:			
Pre calentadores:			
Alineador:			
Engomador:			
Mesa de secado:			
Slitter:			
Cut off:			
Stacker:			
Revisado por: _____			

Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Gráfico de encuesta 1



Fuente: elaboración propia.

El 63 % de los operadores posee el conocimiento básico, sobre aquellos componentes básicos del equipo.

Encuesta 2: esta encuesta se realizó con el fin de determinar el estado actual de los equipos de la línea de corrugado, esta encuesta fue dirigida precisamente hacia los mecánicos de línea. Se realizaron dos criterios de aceptación para determinar el estado del equipo, en estado excelente de funcionamiento y en estado deficiente de funcionamiento, tomando como excelente cuando el equipo no presenta ninguna avería que pueda llegar a parar el proceso de producción. La figura apéndice 3 muestra los resultados obtenidos durante la encuesta realizada, siendo el 70 % el estado excelente de funcionamiento de la línea de corrugado.

Apéndice 4. **Gráfico de encuesta 2**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Manejo de información por equipos de toma de lectura de cámara termográfica**

INSPECCION TERMOGRAFICA					
FECHA	MAQUINA	SECCION	DESCRIPCION DEL EQUIPO	TEMPERATURA MAXIMA	TIPO DE ANOMALIA
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 80%; height: 80%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <p>Fotografía directa de cámara termográfica</p> </div> <div style="border: 1px solid black; width: 15%; height: 15%; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-left: 5px;"> <p>TEMPERATURA IDEAL</p> </div> </div>					
DESCRIPCION DE LA MEDICION					
PROBLEMA ENCONTRADO:					
CAUSA DEL SOBRECALENTAMIENTO:					
SOLUCION:					

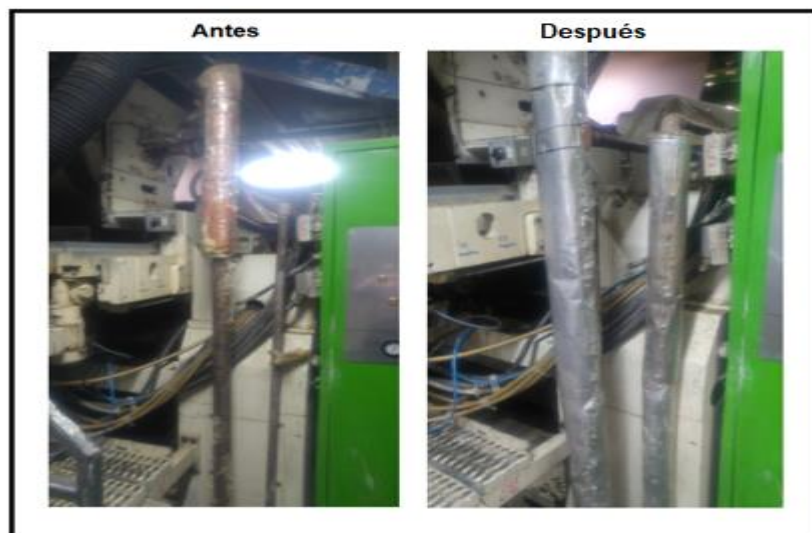
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Manejo de información por equipos de toma de lectura de analizador de vibraciones**

INSPECCION DE FRECUENCIA DE VIBRACIÓN					
FECHA	MAQUINA	SECCION	DESCRIPCION DEL EQUIPO	FRECUENCIA MAXIMA DE VIBRACION	TIPO DE ANOMALIA
Fotografía de pantalla de analizador de vibraciones					FRECUENCIA IDEAL DE VIBRACION
DESCRIPCION DE LA MEDICION					
PROBLEMA ENCONTRADO:					
CAUSA DE LA VIBRACION:					
SOLUCION:					

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Recubrimiento de tuberías de alta presión**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Señalización y colocación de material antideslizante  
accesos de máquinas**

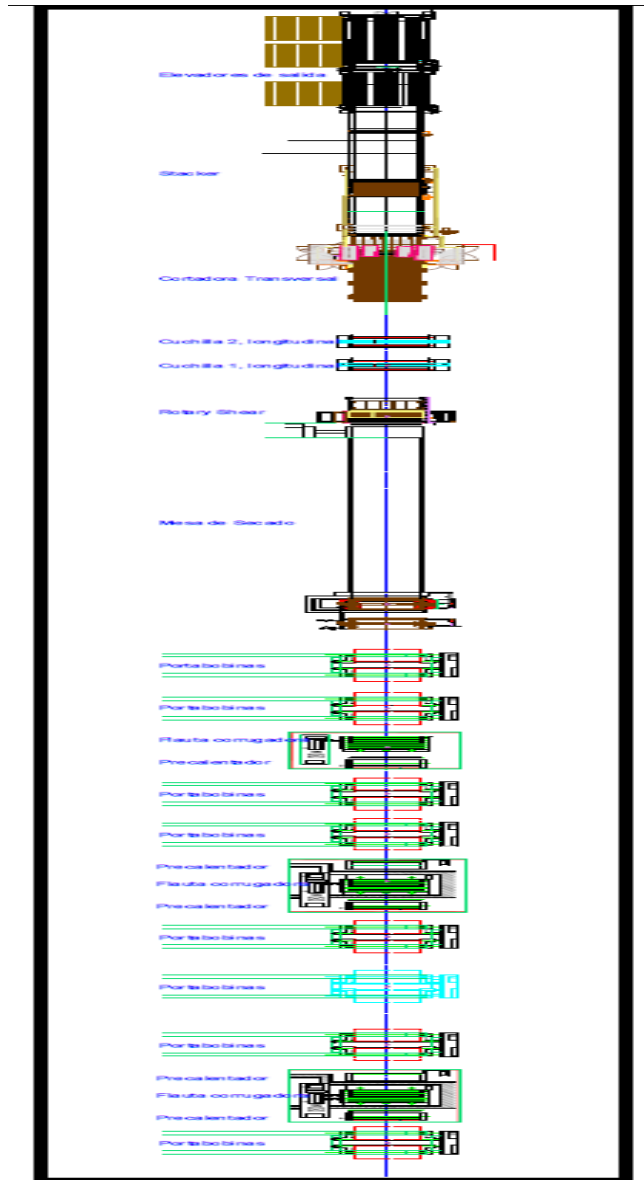


Fuente: elaboración propia.



# ANEXOS

## Anexo 1. Vista de planta de una línea de corrugado



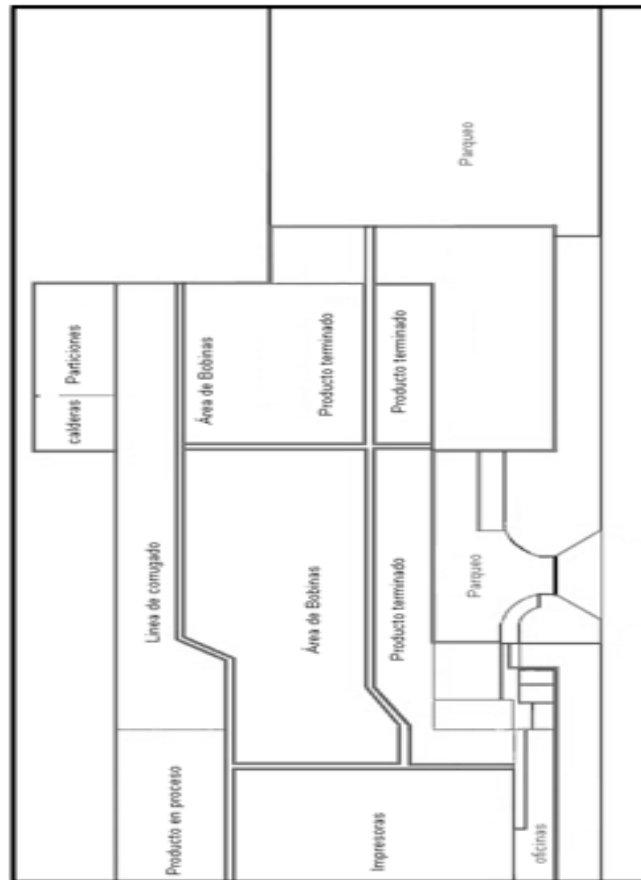
Fuente: Empresa Sirio. *Vista de planta de una línea de corrugado.* p. 20.

## Anexo 2. Propuesta para mejorar las condiciones de aire comprimido

<b>OFERTA ECONOMICA</b>					
<b>Denominación</b>	<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>UM</b>	<b>Precio USD</b>	<b>Total USD</b>
<b>Compresor de Tornillo Rotativo 125psi</b>		3.000	PZA	41,955.00	125,865.00
País de instalación	Guatemala				
Conexión eléctrica	460V / 3 / 60Hz				
sobrepresión máx. de servicio	125.0 psig				
Conexión a un sistema central	Preparada				
<b>Filtro de Aire Comprimido</b>	102129.01721	3.000	PZA	983.00	2,949.00
Conexión de aire comprimido	2 NPT				
Drenaje de condensado	Electrónico				
Tensión de servicio	95...240 VAC; 100...125 VDC				
Monit. presión diferencial	Manómetro de presión diferenci				
<b>TOTAL DE ESTA OFERTA ECONOMICA</b>					<b>128,814.00</b>

Fuente: Productos y Servicios Integrales, S.A. *Cotización de aire comprimido.* p. 1.

Anexo 3. **Distribución de planta de una planta de corrugado, basado en el flujo del proceso productivo**



Fuente: Empresa Sirio. *Distribución de planta de corrugado*. p. 25.

