



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

**MEJORAS A UNA IMPRESORA DE CARTÓN FLEXOGRÁFICA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN
DEL SISTEMA DE GESTIÓN ISO 9001:2008 EN UNA EMPRESA DE CARTÓN CORRUGADO**

Jorge Luis Xutuc Gutiérrez

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAS A UNA IMPRESORA DE CARTÓN FLEXOGRÁFICA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN
DEL SISTEMA DE GESTIÓN ISO 9001:2008 EN UNA EMPRESA DE CARTÓN CORRUGADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE LUIS XUTUC GUTIÉRREZ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
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:

**MEJORAS A UNA IMPRESORA DE CARTÓN FLEXOGRÁFICA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN
DEL SISTEMA DE GESTIÓN ISO 9001:2008 EN UNA EMPRESA DE CARTÓN CORRUGADO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 20 de marzo de 2012.

Jorge Luis Xutuc Gutiérrez



Guatemala, 28 de agosto de 2015
REF.EPS.DOC.564.08.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

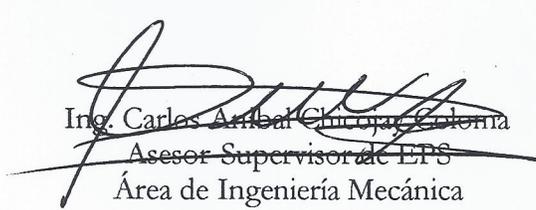
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Jorge Luis Xutuc Gutiérrez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200618158, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **MEJORAS A UNA IMPRESORA DE CARTÓN FLEXOGRÁFICA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD ISO 9001:2008 EN UNA EMPRESA DE CARTÓN CORRUGADO.**

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicojaj Coloma
Asesor Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 28 de agosto de 2015
REF.EPS.D.429.08.15

Ing. Roberto Guzmán
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **MEJORAS A UNA IMPRESORA DE CARTÓN FLEXOGRÁFICA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD ISO 9001:2008 EN UNA EMPRESA DE CARTÓN CORRUGADO**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Jorge Luis Xutuc Gutiérrez** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.363.2015

El Coordinador del Área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **MEJORAS A UNA IMPRESORA DE CARTÓN FLEXOGRÁFICA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN ISO 9001:2008 EN UNA EMPRESA DE CARTÓN CORRUGADO** del estudiante **Jorge Luis Xutuc Gutiérrez**, carné No. **2006-18158** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
Coordinador del Área de Diseño
Escuela de Ingeniería Mecánica

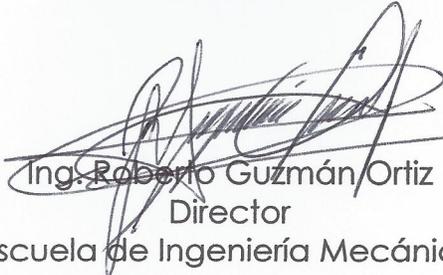


Guatemala, noviembre de 2015

Ref.E.I.M.157.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **MEJORAS A UNA IMPRESORA DE CARTÓN FLEXOGRÁFICA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN ISO 9001:2008 EN UNA EMPRESA DE CARTÓN CORRUGADO** del estudiante **Jorge Luis Xutuc Gutiérrez**, carné No. **2006-18158** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

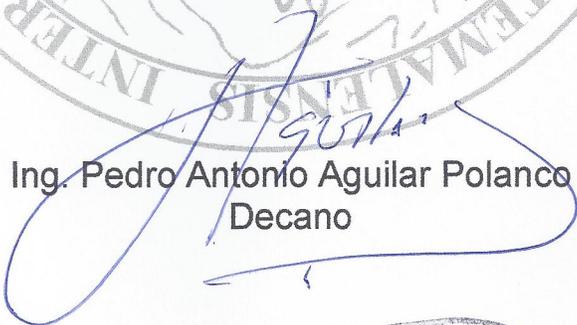


Guatemala mayo de 2016
/aej



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **MEJORAS A UNA IMPRESORA DE CARTÓN FLEXOGRÁFICA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN ISO 9001:2008 EN UNA EMPRESA DE CARTÓN CORRUGADO**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Luis Xutuc Gutiérrez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2016



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por sus bendiciones e inmenso amor.
Mis padres	Luis Francisco Xutuc y Aura Esperanza Gutiérrez, por ser seres llenos de amor incondicional, apoyo y ejemplo en mi vida.
Mis hermanos	Gustavo y Willy Xutuc, por ser parte importante del desarrollo de mi carrera y vida personal.
Mis tíos	Familia Agustín Xutuc, Xutuc Castillo, quienes fueron como mi segunda familia cuando estuve lejos de mi hogar.
Mis amigos	Se dice que la amistad es uno de los vínculos más sagrados que existen; gracias por estar en cada momento en esta travesía.
Mis catedráticos	Intelectuales que me compartieron una idea, conocimiento y herramientas para enfrentar el futuro de una manera diferente, muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Gloriosa alma materna que en tu seno albergas una gran Facultad, llena de intelectuales visionarios y emprendedores; gracias por cobijarme con tus conocimientos; gracias USAC.

Facultad de Ingeniería

Mi casa de estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN. GENERALIDADES DE LA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA.....	1
1.1. Flexografía.....	1
1.2. Principios de funcionamiento.....	3
1.2.1. Ventajas de la flexográfica.....	5
1.2.2. Cartón corrugado.....	6
1.2.2.1. Tipos de cartón corrugado.....	7
1.2.2.2. Calibres del cartón corrugado.....	9
1.2.2.3. Tipos de cajas corrugadas.....	10
1.3. Impresora flexográfica.....	12
1.4. Componentes y funcionamiento de una impresora flexográfica.....	13
1.4.1. Módulo de alimentación.....	13
1.4.2. Módulo de tinta.....	14
1.4.2.1. Pluma dosificadora de tinta.....	14
1.4.2.2. Rodillo anilox.....	15
1.4.2.3. Rodillo portaclisé o de impresión.....	15
1.4.2.4. Rodillo de contrapresión.....	16

1.4.2.5.	Rodillos jaladores	16
1.4.3.	Módulo de <i>slotter</i> (corte).....	17
1.4.3.1.	Rodillo de corte superior	17
1.4.3.2.	Rodillo de corte inferior	18
1.4.3.3.	Tornillo sin fin	18
1.4.3.4.	Rodillos jaladores	18
1.4.4.	Módulo de troquel.....	19
1.4.4.1.	Rodillo portatroquel.....	19
1.4.4.2.	Troquel	20
1.4.4.3.	Rodillo de contrapresión	20
1.4.4.4.	Eje de ajuste	20
1.4.5.	Puente de la impresora.....	21
1.4.6.	Engomador.....	21
1.4.7.	Dobladora.....	22
1.4.8.	Cuadrador	23
1.4.9.	Mesa final de embalaje.....	24
2.	ANÁLISIS EN MEJORAS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE VAPOR.....	27
2.1.	Tipos de calderas	27
2.1.1.	Calderas humotubulares o pirotubulares	28
2.1.2.	Calderas acuotubulares.....	29
2.2.	Eficiencia del ciclo de Rankine simple en una caldera pirotubular.....	30
2.2.1.	Ciclo de Rankine simple	31
2.3.	Análisis de eficiencia del ciclo Rankine de una caldera Johnson de 300 HP	32
2.4.	Análisis de las mejoras al ciclo termodinámico de una caldera pirotubular	35

2.4.1.	Sistema Baviera.....	36
2.4.2.	Eficiencia del ciclo aplicando el sistema Baviera.....	38
3.	MEJORAS EN UNA IMPRESORA INDUSTRIAL FLEXOGRÁFICA DE CARTÓN CORRUGADO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN ISO 9001:2008.....	43
3.1.	Mejoras a una impresora flexográfica.....	43
3.1.1.	Estado actual del equipo de impresión.....	44
3.2.	Tipos de mantenimiento	46
3.2.1.	Mantenimiento correctivo	47
3.2.2.	Mantenimiento preventivo	48
3.2.3.	Mantenimiento predictivo	48
3.3.	Sistemas del equipo	49
3.4.	Sistemas mecánicos	50
3.4.1.	Lubricación y tribología	51
3.4.1.1.	Fricción	53
3.4.1.2.	Desgaste.....	54
3.4.1.3.	Lubricación.....	54
3.4.2.	Rodamientos y ejes	58
3.4.2.1.	Rodamientos.....	58
3.4.2.2.	Cadenas.....	60
3.4.2.3.	Engranajes.....	64
3.5.	Sistemas neumáticos	68
3.5.1.	Elementos neumáticos.....	70
3.5.1.1.	Mantenimiento del sistema neumático	71
3.6.	Sistema eléctrico.....	73
3.6.1.	Motores eléctricos.....	74
3.6.1.1.	Eficiencia en motores eléctricos	77

	3.6.1.2.	Pérdidas en motores eléctricos.....	77
3.7.		Sistemas electrónicos.....	78
	3.7.1.	Elementos del sistema electrónico.....	79
	3.7.2.	PLC o autómatas programables (AP).....	82
4.		CALIDAD Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO DE LA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA.....	83
4.1.		Sistema de gestión ISO 9001:2008.....	83
4.2.		Norma 10013:2001. Directrices para la documentación de sistemas de gestión de la calidad.....	86
4.3.		Procedimientos, registros e instructivos.....	88
	4.3.1.	Procedimientos documentados.....	88
		4.3.1.1. Título.....	89
		4.3.1.2. Propósito.....	89
		4.3.1.3. Alcance.....	89
		4.3.1.4. Responsabilidad y autoridad.....	89
		4.3.1.5. Descripción de actividades.....	89
		4.3.1.6. Registros.....	90
		4.3.1.7. Anexos.....	90
	4.3.2.	Instructivos de trabajo.....	90
		4.3.2.1. Contenido.....	91
		4.3.2.2. Tipos de instructivos.....	91
		4.3.2.3. Registros especificados.....	91
	4.3.3.	Registros.....	92
4.4.		Estudio tribológico.....	92
	4.4.1.	Procedimiento de lubricación.....	96
4.5.		Análisis de vibraciones.....	97
	4.5.1.	Procedimiento de análisis de vibraciones.....	98

4.5.2.	Instructivos de trabajo para el análisis de vibraciones	98
4.6.	Análisis de amperajes	100
4.6.1.	Procedimiento para análisis de amperajes	100
4.6.2.	Instructivo de análisis de amperaje	101
4.7.	Limpieza y mantenimiento de sistemas eléctricos e infraestructura	102
4.8.	Mejoras a sistema de succión y limpieza de la impresora industrial.....	102
4.8.1.	Causas del problema	104
4.8.2.	Solución posible	105
4.8.3.	Diseño	106
5.	FASE DE DOCENCIA. RESULTADOS	115
5.1.	Capacitación de la aplicación y gestión del mantenimiento preventivo y predictivo.....	115
5.2.	Capacitación sobre el uso del software de diseño mecánico.....	117
	CONCLUSIONES	119
	RECOMENDACIONES.....	121
	BIBLIOGRAFÍA.....	123
	APÉNDICES.....	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema del proceso de corrugación	7
2.	<i>Single face</i>	7
3.	<i>Single wall</i>	8
4.	<i>Double wall</i>	8
5.	<i>Triple wall</i>	9
6.	Tipos de cajas corrugadas (a).....	11
7.	Tipos de cajas corrugadas (b).....	11
8.	Ejes componentes del módulo de tinta.....	17
9.	Componentes del módulo de <i>slotter</i>	19
10.	Vista lateral del módulo de troquel	21
11.	Vista de módulo de engomador y bomba neumática de dosificación	22
12.	Vista de la sección del puente y la dobladora.....	23
13.	Vista frontal del módulo del cuadrador	24
14.	Vista lateral de la sección del contador y la mesa final de salida.....	25
15.	Caldera pirotubular de dos pasos.....	29
16.	Caldera acuatubular	30
17.	Diagrama T-S de un ciclo Rankine con vapor de alta presión sobrecalentado	32
18.	Ciclo Rankine caldera Johnson 300 HP	33
19.	Sistema Baviera para eficiencia del equipo de vapor	37
20.	Efectos de la fricción en metales.....	52
21.	Visualización del desgaste en piezas metálicas	52
22.	Mantenimiento preventivo, lubricación en engranes.....	53

23.	Eslabón, componentes de una cadena	61
24.	Lubricación de cadena por brocha	62
25.	Lubricación por baño en aceite	62
26.	Lubricación por goteo	63
27.	Lubricación por chorro	63
28.	Lubricación manual usando brocha	64
29.	Aplicación de los engranes en el módulo de tinta	65
30.	Aplicación de engranes en caja reductora	66
31.	Aplicación de engranes cónicos, piñón y corona	68
32.	Esquema de un sistema neumático básico	70
33.	Motor eléctrico	74
34.	Rotor y estator de un motor eléctrico	75
35.	Componentes del motor eléctrico	76
36.	Aplicación de los circuitos electrónicos, controlador LOGOS	80
37.	Tarjetas de memoria usadas en sistemas PLC	81
38.	Esquema de funcionamiento de un sistema PLC	82
39.	Aplicación de análisis de vibración en chumaceras de un eje de entrada a la flauta de corrugación	99
40.	Aplicación del análisis de amperajes a un módulo de control eléctrico	101

TABLAS

I.	Calibres de cartón corrugado	10
II.	Interpolación	34
III.	Vapor de agua saturado, interpolación	38
IV.	P = 1,2 MPA, interpolación	39
V.	Interpolación, presión y entropía	39

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AP	Autómata programable
PLC	Contador lógico programable
HP	<i>Horse power</i>
RSC	<i>Regular slotted container</i> (caja ranurada de uso regular)
UV	Ultravioleta

GLOSARIO

Anilina	Nombre con el que se origina la flexografía.
Blower	Equipo de succión que genera vacío mediante la fuerza centrífuga del movimiento de su propulsor.
Clisses	Planchas hechas de hule, a las cuales se les coloca la tinta e imprimen sobre el papel.
Clisse	Es un elemento del rodillo de impresión conocido como grabado, el cual se realiza en una plancha de caucho transparente y posee la forma de la figura que se dejará impresa en el cartón.
Double wall	Es el resultado de tres láminas <i>liner</i> al momento de cubrir dos láminas aduladas en medio de estas.
Embalaje	Es la etapa del proceso donde se ordenan las cajas de cartón por tipos; de esa manera se evita su contaminación.
Flauta	Equipo utilizado para corrugar el papel.
Flexografía	Es un método de impresión directa, rotativa.
Foil	Papel que crea un efecto metalizado en las partes.

<i>Glassine</i>	Papel usado en aplicaciones donde se requiere de un papel más fino.
Hexacromía	Impresión a seis colores.
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización).
<i>Liner</i>	Pliego de papel que recubre al cartón corrugado.
Marmita	Es un recipiente de la familia de las ollas, que dispone de una tapa para aprovechar el vapor.
Materiales resilientes	Son materiales que poseen la habilidad de absorber una buena cantidad de energía antes de deformarse.
Rodillo <i>anilox</i>	Es el elemento de la impresora que se encarga de recibir la tinta proveniente de la pluma dosificadora para almacenarla en un micropanal que posee, y posteriormente depositarla en el <i>clisse</i> del rodillo de impresión.
<i>Single face</i>	Es una lámina de papel <i>liner</i> con otra de papel acanalado.
<i>Single wall</i>	Son dos láminas de papel <i>liner</i> pegadas a ambos extremos de una de papel ondulado.

<i>Slotter</i>	Conocido con el nombre de ranuradora: su función es darle el acabado final a la caja de cartón, para ello hace uso de diversas cuchillas que giran con el movimiento del tren de engranajes.
<i>Sprocket</i>	Es una rueda dentada similar a un engranaje pero de menor espesor, la función del mismo es transmitir potencia a través de una cadena.
Tensor	Es un elemento mecánico cuya función es ajustar la tensión de la cadena, para lograr con ello una menor pérdida de tracción.
Termoencogibles	Son materiales o películas que tienen la capacidad de reducirse ampliamente de tamaño.
<i>Traping</i>	Contaminación del respaldo por secado
<i>Triple wall</i>	Es el resultado de cuatro láminas <i>liner</i> , cubriendo 3 láminas de cartón ondulado.
Troquel	Es el elemento que va montado en el módulo del mismo nombre, el cual está compuesto por diversas cuchillas, las cuales están acomodadas acordes a la forma que se le quiera dar al troquel, mismo diseño que llevará la caja al finalizar.
Tubuladora	Trozo corto de tubería o de tubo, que forma parte del aparato a presión.

Vulcanización

Es el método de calentamiento del caucho, mediante la aplicación de azufre.

RESUMEN

El trabajo expuesto a continuación contiene un estudio realizado en el Departamento de Mantenimiento de una empresa dedicada a la producción de empaques de cartón. El mismo consistió en el estudio, análisis y aplicación de metodologías de mantenimiento preventivo y predictivo que se pueden aplicar a los dos equipos más modernos con que cuenta el área de impresión (impresoras 5PA y 6 PS).

Asimismo, con el estudio se buscó implementar y estandarizar métodos para poder realizar un mantenimiento predictivo basado en una mejora continua. Para alcanzar este objetivo se desarrollaron procedimientos, instructivos y registros, los cuales toman de referencia el sistema de calidad ISO 9001:2008.

Con el apoyo de la norma y los datos obtenidos de los equipos de impresión se logró desarrollar una base de datos con la cual se tiene más precisión y mejor control de los equipos, como por ejemplo qué elementos sufren más desgaste en el proceso y con ello aplicar un mantenimiento más adecuado para cada caso; asimismo se detectaron problemas de contaminación en el área de producción, derivados de la operación de los equipos de impresión, que también fueron analizados y se plantearon soluciones a los mismos. Con lo anterior y la evaluación permanente se generará un mayor control de los tiempos de vida de los elementos y así podrá darse un mantenimiento predictivo.

OBJETIVOS

General

Realizar mejoras a una impresora de cartón mediante la implementación del sistema de gestión ISO 9001:2008 en una empresa de cartón corrugado, mediante el cual se alcance un mejor control del mantenimiento preventivo/predictivo y de calidad de operación.

Específicos

1. Aplicar una metodología estandarizada para hacer más efectivo el mantenimiento preventivo/predictivo.
2. Generar los registros de partes correspondientes a los principales equipos de impresión con que cuenta el área de producción de la empresa.
3. Registrar instructivos y procedimientos de mantenimiento que serán implementados para el análisis, seguimiento y prevención del cuidado de los equipos de impresión de la empresa.
4. Detectar y generar mejoras adicionales a los equipos para incrementar la eficiencia y calidad de los procesos en el área de producción.

INTRODUCCIÓN

El trabajo que se expone a continuación contiene el estudio y ejecución de un proyecto de mejoras a una impresora flexográfica de cartón corrugado. Al inicio del estudio se pudo constatar el estado e el que se encontraban los equipos, así como el tiempo de mantenimiento que se les estaba ejecutando, con base en el análisis inicial, y tomando en cuenta las necesidades del Departamento de Mantenimiento y Producción de la planta; asimismo se logró conocer que el mantenimiento y cuidados en ese momento hacia los equipos correspondía a un mantenimiento preventivo en etapa temprana de ejecución; por lo que la mayoría de los mantenimientos eran de tipo correctivo, con lo que se afectaba en los tiempos de operación del área de producción.

El objetivo que se busca mediante el trabajo expuesto es brindarle un seguimiento al trabajo iniciado en cuanto al mantenimiento preventivo y las mejoras que pueden ser necesarias para el área de impresoras, así como aplicar una metodología de mantenimiento conceptualizado en el sistema de calidad ISO 9001:2008, mediante el cual es posible la realización de procedimientos, instructivos y registros de los mantenimientos realizados a cada equipo, y con ello elevar el grado de calidad y monitoreo de los mantenimientos, buscando alcanzar un mantenimiento predictivo que pueda indicar anomalías en los equipos que puedan generar problemas a futuro.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN. GENERALIDADES DE LA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA

Todas las personas han tocado y usado todo tipo de empaques, como las bolsas de golosinas o caja de las pizzas, nunca se han preguntado nada acerca de estos.

Entre más y más productos sean empacados, más y más empaques impresos serán requeridos. Esto tiene mucho que ver con el crecimiento de la flexografía. En efecto, la flexografía es actualmente el sistema de impresión de más rápido crecimiento en el mundo. Más y más fabricantes están usando la flexografía en sus empaques y etiquetas.

1.1. Flexografía

En los inicios de la flexografía esta era conocida con el nombre de “anilina”, se introdujo en los Estados Unidos en gran escala en los años 20. Durante sus inicios se tenía muy poco conocimiento de la misma, se utilizaban equipos contruidos de mala forma, así como sus complementos tanto de tintas como de planchas, lo que generaba imágenes de mala calidad.

En 1930, con el advenimiento del celofán como un material de empaque, se encuentra un nuevo campo para la flexografía. Muchos problemas tendrían que ser resueltos antes de que el celofán pudiera ser impreso con éxito. Primero, era necesario reformular las tintas para obtener una impresión fina y buena adherencia de estas al sustrato.

Se requería también el empleo de calor para favorecer la buena adherencia y el secado de las tintas sobre este material no absorbente. Calentadores y sopladores de aire caliente, montados después de las estaciones de impresión, fueron desarrollados para permitir un secado satisfactorio a velocidades de 100 y 150 pies por minuto.

En 1935, la introducción de la velocidad variable de impresión, junto con el ojo eléctrico, hizo factible la impresión flexográfica rollo a rollo. Las velocidades de la máquina impresora podían ahora incrementarse considerablemente, contando con que hubiese una fuente de calor adecuada para el secado de las tintas. Sin embargo, los secadores no estuvieron disponibles sino hasta 1940.

Las ventajas de las velocidades variables de impresión y la impresión rollo a rollo expandió el campo del sistema de impresión con anilina.

Adicional a los materiales para empaque flexible, tenían la posibilidad de ser impresos por este proceso, papel de regalo, toallas higiénicas y envolturas de cajas, resmas de papel, formas continuas, aplicaciones de marcas registradas y diseños sobre papel cartón, además de una innumerable variedad de otros materiales que requerían ser manejados en rollos, ya que en procesos subsiguientes, los rollos impresos podían ser cortados al tamaño requerido, cortados en hojas, troquelados, recubiertos con parafina, o convertidos en otras formas tales como bolsas, vasos, cartones y cajas, ya sea en etapas separadas o en línea.

Nuevos desarrollos tales como celofán a prueba de humedad y películas de acetato empezaron a ser fabricados. Además del celofán, el *glassine* y el *foil*, también eran impresos por flexografía.

Después de experimentar por varios años con sistemas de recirculación de aire caliente, se introdujo en 1940 la primera máquina impresora completa con equipo para secado de tintas. Este permitía utilizar tintas con altos contenidos de pigmentos y revolucionaron la industria al permitir imprimir rollo a rollo, a dos veces la velocidad anterior.

El 22 de octubre de 1952 durante el 14º foro del Instituto de Empaques, se anunció que el nombre de flexografía había sido escogido por abrumadora mayoría. El término flexografía, y el adjetivo “flexográfico” fueron rápidamente adoptados y aceptados a nivel mundial en un tiempo relativamente corto.

En 1958, se funda la *Flexographic Technical Association, Inc.*, dedicada a la promoción, desarrollo y avance del sistema de impresión flexográfico. Organizada, soportada y mantenida por muchos de los más conocidos y progresistas hombres en este campo, sus miembros estaban orgullosos de sus conocimientos y no vacilaron en compartirlos. Reuniones técnicas de trabajo y seminarios fueron programadas regularmente en los Estados Unidos, Canadá y México, donde los convertidores y las firmas relacionadas discutieron los problemas y desarrollos pertinentes a la época.

Desde la fundación de la FTA en Norteamérica, se ha establecido una FTA europea, con sede en Gran Bretaña y Alemania Occidental, y posteriormente una en el Lejano Oriente, localizada en Japón.

1.2. Principios de funcionamiento

La flexografía está considerada como el sistema de impresión con mayor crecimiento en un futuro próximo. Soportes simples o coextrusionados, tintas y sobre todo, nuevos materiales cerámicos y metálicos en la composición de las

máquinas impresoras, han elevado la calidad de las impresiones, logrando hacer aplicaciones que hace una década parecían imposibles.

La flexografía es un método de impresión directa rotativa, que utiliza planchas elaboradas en materiales resilientes de caucho o fotopolímeros. Las planchas se pegan a cilindros metálicos de diferente longitud, entintados por un rodillo dosificador conformado por celdas, con o sin cuchilla dosificadora invertida, que lleva una tinta fluida de rápido secamiento a la plancha, para imprimir virtualmente sobre cualquier sustrato absorbente o no absorbente.

La flexografía es un sistema de impresión rotativo; para cada revolución realizada por el cilindro de impresión se produce una imagen completa. Existen tres tipos de prensas más comúnmente, empleados en la industria flexográfica, tales como: el *stack*, la impresión en línea, y la impresión de tambor central.

Las planchas para la impresión en flexo pueden ser de caucho vulcanizable o de una variedad de resinas de polímero sensible a la luz ultravioleta. Las planchas tienen un área en alto relieve que imprime directamente sobre el sustrato con una ligera presión denominada "presión al beso". A diferencia de las pesadas planchas metálicas empleadas por la imprenta offset, las planchas flexográficas son adaptables y desplazables.

La flexografía utiliza una plancha con la imagen en relieve hecha de caucho flexible o fotopolímero, que imprime directamente una bobina de soporte. Una plancha de caucho flexible permite imprimir sobre superficies irregulares como cartón ondulado, pero también limita el control de calidad. Entre las principales aplicaciones de la flexografía, está la de proyectos de envases y embalajes. Se calcula que la pasada década el uso de la flexografía ha crecido alrededor de 8 % anual.

La flexografía es uno de los sistemas que más crecimiento ha tenido; esto debido a la gran variedad en cuanto a su aplicación. Envoltorios, sobres, etiquetas, bolsas, cajas de cartón, envases, cintas adhesivas, entre otros productos, son impresos diariamente utilizando este particular sistema.

La versatilidad de la flexografía y su fácil adaptación a las demandas del mercado, además de la aplicación de la hexacromía en la impresión de cartón, y la introducción de procesos digitales especialmente en la fase de preimpresión, están definiendo la evolución de este sistema de impresión, con lo cual se incrementa el nivel de alcance que posee sobre cualquier otro método de impresión.

1.2.1. Ventajas de la flexográfica

- Puede imprimirse sobre una gran variedad de sustratos absorbentes y no absorbentes.
- Utiliza tintas de secado rápido, bien sea base solvente, base acuosa o ultravioleta (UV).
- Puede imprimir tinta húmeda sobre tinta húmeda, para evitar el problema del “*traping*”, contaminación del respaldo y el secado.
- Emplea planchas de caucho o fotopolímeras que pueden imprimir millones de metros.
- Los cilindros de plancha pueden ser retirados de la prensa, para dar ingreso a nuevas planchas que han sido montadas y probadas previamente.
- Las prensas pueden imprimir con una amplia gama de longitudes de impresión para satisfacer las necesidades de los clientes. El sistema flexográfica es completamente variable en su longitud de presión.

- Las velocidades de prensa o de impresión varían dependiendo del tipo de equipo con el cual se está trabajando, el cual puede ser en rangos de velocidad tanto leve como elevada.
- Los sistemas de entintado pueden entregar cantidades predeterminadas de tinta, sin mayores ajustes.
- Puede imprimir imágenes continuas (papel de regalo, papel para paredes o decoraciones para pisos).
- Puede imprimir sobre el reverso de películas termoencogibles y transparentes.
- Facilita la rápida rotación entre los trabajos.
- Puede hacer cortos tirajes rentablemente.
- Las prensas pueden imprimir en línea y etiquetas autoadhesivas en rollos.

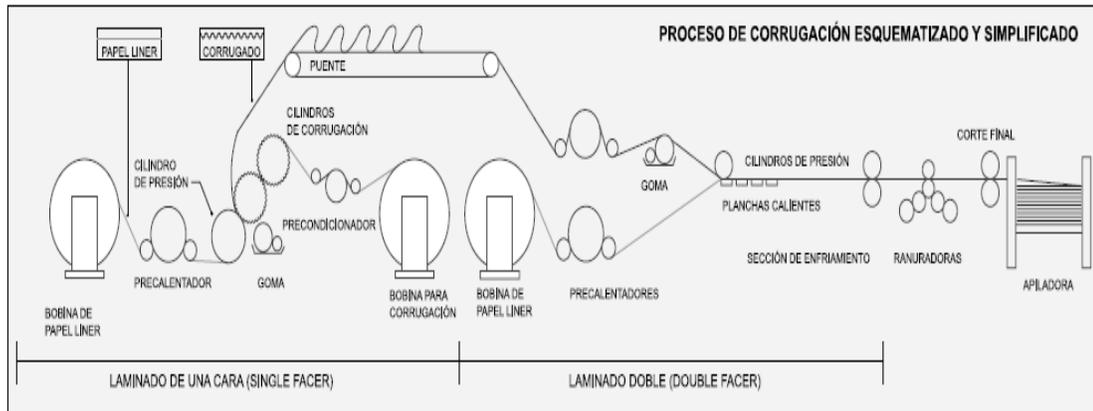
1.2.2. Cartón corrugado

El cartón corrugado es una combinación de lo que se conoce como *liner* y flauta, que es una gruesa lámina plana y la flauta, que es una lámina acanalada que va adherida al *liner* mediante goma, presión y calor. Todo esto, hecho de base de pulpa de papel de pino o papel reciclado.

El cartón corrugado, logra obtener fuerza adicional en las cajas mediante los dobles, uniones y perforaciones especiales que se dan a estas en lugares claves de sus respectivos diseños estructurales, los cuales se conciben con base en el uso específico al que serán destinados.

En la siguiente imagen se puede observar cómo se realiza el proceso de corrugación y creación del cartón.

Figura 1. Esquema del proceso de corrugación

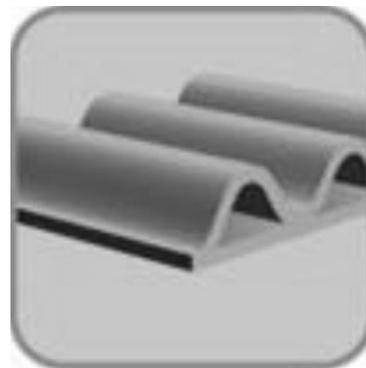


Fuente: CYECSA. <http://www.cyecsa.com.mx/cyecsa-carton.pdf>. Consulta: junio de 2015.

1.2.2.1. Tipos de cartón corrugado

- *Single face*: es una lámina de papel *liner* pegado a otra lámina acanalada, es usado principalmente para envolver objetos.

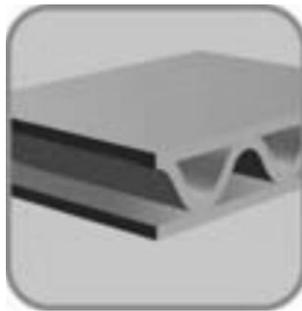
Figura 2. *Single face*



Fuente: CYECSA. <http://www.cyecsa.com.mx/cyecsa-carton.pdf>. Consulta: junio de 2015.

- *Single wall*: son dos láminas de papel *liner* pegadas a las dos superficies de una lámina acanalada. Es la más usada dentro de la industria del empaque corrugado.

Figura 3. ***Single wall***



Fuente: CYECSA. <http://www.cyecsa.com.mx/cyecsa-carton.pdf>. Consulta: junio de 2015.

- *Double wall*: es el resultado de tres láminas de papel planas, más dos láminas acanaladas pegadas en medio de las tres primeras. Este tipo de cartón es muy resistente, y es usado generalmente para artículos de peso considerable.

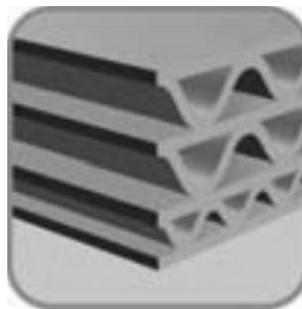
Figura 4. ***Double wall***



Fuente: CYECSA. <http://www.cyecsa.com.mx/cyecsa-carton.pdf>. Consulta: junio de 2015.

- *Triple wall*: es el resultado de cuatro láminas de papel planas, más tres láminas acanaladas pegadas en medio de las cuatro primeras. Es un cartón sumamente resistente, concebido para artículos y tareas que involucren pesos extremos.

Figura 5. ***Triple wall***



Fuente: CYECSA. <http://www.cyecsa.com.mx/cyecsa-carton.pdf>. Consulta: junio de 2015.

1.2.2.2. Calibres del cartón corrugado

El número y tamaño de arcos por pie lineal que contienen las láminas de cartón corrugado determinan su calibre, así pues, se tiene la flauta tipo A que es la más ancha, pasando por la C, que es considerablemente más delgada; la B es similar a la C pero de un calibre menor.

Siguen las flautas E, F y G (desarrollada en años recientes) que entran en las categorías de lo que se conoce con el nombre de flautas microcorrugadas, nombradas así por el mínimo tamaño que se logra en sus arcos a la hora de su corrugación.

Tabla I. **Calibres de cartón corrugado**

Calibres de las Láminas Corrugadas			
Flauta	Arcos por pie	Altura del Arco	Gráfica
A	33+/-3	0.184 plg	
C	39+/-3	0.142 plg	
B	47+/-3	0.097 plg	
E	90+/-4	0.062 plg	
F	96+/-4	0.045 plg	

Fuente: CYECSA. <http://www.cyecsa.com.mx/cyecsa-carton.pdf>. Consulta: junio de 2015.

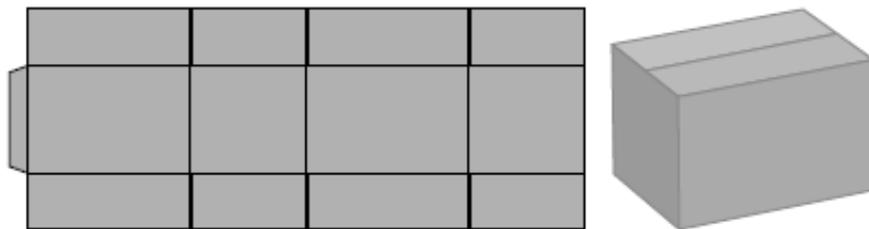
1.2.2.3. Tipos de cajas corrugadas

Básicamente, hay dos tipos de cajas corrugadas: las RSC (llamadas así por sus siglas en inglés y que significa “*regular slotted container*” (caja ranurada de uso regular) y las cajas troqueladas. Las RSC constan de lados y paneles que al momento de ser doblados son iguales el frontal con el trasero, y los laterales, uno con el otro, respectivamente; cabe mencionar también que es el tipo de caja más regular que hay, es más barata y no da dificultades en los procesos de impresión.

Las cajas troqueladas en la mayoría de los casos son de formas irregulares y su diseño responde a necesidades específicas del artículo o producto que va a contener, por lo que es difícil clasificarlas dentro de otras subcategorías, pero hay algunos modelos estandarizados como las cajas para pizzas, para archivos, documentos, tipo bandeja, telescópicas, entre otras, que

por su probada efectividad, se han vuelto estándares de la industria cartonera, a pesar de que estas no entren de categorías específicas.

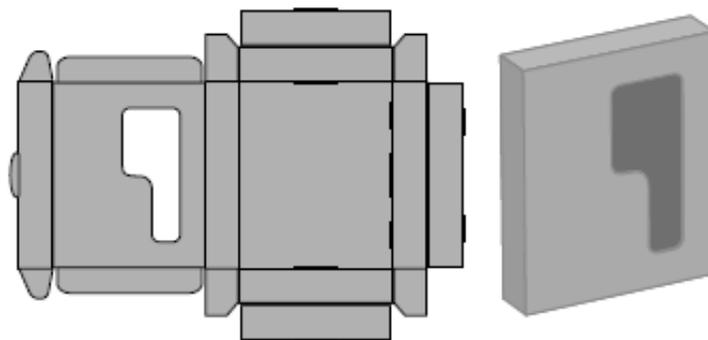
Figura 6. **Tipos de cajas corrugadas (a)**



Ejemplo de una caja RSC (sin armar y armada)

Fuente: CYECSA. <http://www.cyecsa.com.mx/cyecsa-carton.pdf>. Consulta: junio de 2015.

Figura 7. **Tipos de cajas corrugadas (b)**



Ejemplo de una caja troquelada (sin armar y armada)

Fuente: CYECSA. <http://www.cyecsa.com.mx/cyecsa-carton.pdf>. Consulta: junio de 2015.

1.3. Impresora flexográfica

En la planta de producción de Empaques San Lucas se cuenta con un equipo de impresión flexográfica de serie TCY- 5PA, la cual es una impresora flexográfica de modelo reciente, que cuenta con diversas funciones que la hacen ser mejor que sus predecesoras.

Posee sistemas de control automatizado, los cuales se encargan de registrar y acomodar el sistema para los requerimientos de producción, todo esto gobernado mediante PLC y microcontroladores.

Se puede operar bajo diversos rangos de velocidad, mediante los cuales se puede ajustar la cantidad de láminas de impresión producidas por minuto; con ello se puede acomodar el ritmo de impresión según sea necesario.

El equipo de impresión flexográfico está dividido en dos partes principales, las cuales son las encargadas de ejecutar todo el proceso; estas son los módulos comprendidos en el área de impresión y los módulos comprendidos en el área de pegado, doblado y embalado, denominado puente.

Para la realización del proceso en las fases de impresión, el equipo necesita ser alimentado por medio de láminas de cartón corrugado, las cuales pueden variar de tamaño en cuanto a su ancho, largo y grosor, dependiendo de la flauta de donde provienen, como se explicó en los incisos anteriores, tomando en cuenta que existe una longitud máxima de la lámina concerniente a 65" y una mínima de 25"; esto debido a las dimensiones con las que cuenta el equipo de impresión. Con esto se logra una mayor versatilidad y adaptabilidad a los diversos tipos de empaques solicitados por el cliente.

La impresora tiene la capacidad para poder aplicar cuatro colores de tinta simultáneamente en una corrida, con lo cual posee un buen rango de impresión en cuanto a la variación de colores y tonalidades. El equipo de impresión también está provisto de módulos de corte y de troquel, los cuales se encargan de dar forma a los empaques y colocar los diversos diseños requeridos en ellos. El funcionamiento de cada una de estas secciones principales y sus componentes, se explica en los siguientes incisos.

1.4. Componentes y funcionamiento de una impresora flexográfica

A continuación se describen los diversos módulos que integran una impresora flexográfica, sus componentes y su funcionamiento.

1.4.1. Módulo de alimentación

Este es el primer módulo con el que cuenta el área de la impresora; es denominado de esta manera puesto que en él es donde se colocan las láminas de impresión para el equipo dicho módulo cuenta con sistemas eléctricos, electrónicos, neumáticos y mecánicos, los cuales conjuntamente hacen posible los ajustes necesarios para poder operar el equipo. Todos los sistemas del mismo son controlados por medio de un PLC central, el cual se encarga de la operación automática del equipo durante su corrida, desde el inicio en la colocación del punto cero, hasta el final del proceso.

El punto cero del equipo es la ubicación en la cual la impresora se coloca al inicio de cada corrida; esto brinda un punto de referencia para el inicio de funcionamiento del mismo, con lo que se logra que todos los módulos de la impresora se alineen. Dicha alineación consiste en poner todos los rodillos de impresión en la misma posición, con lo cual se sincronizan para realizar la

impresión en el lugar requerido sobre las láminas de cartón de una forma consecutiva en los módulos de tinta; asimismo, para sincronizar el movimiento de las cuchillas cortadoras en el módulo del *slotter* y troquel.

Este módulo cuenta con un sistema de succión para la absorción de desechos como polvo que se pueda encontrar en el ambiente; este sistema es conocido con el nombre de “*blower*”, el cual es una bomba de vacío que funciona con el principio de las bombas centrifugas, solo que debido a su diseño estas solo pueden trabajar para la absorción de gases. Este sistema se activa una vez el equipo comienza a operar para poder realizar la limpieza de todas las láminas que entran al módulo.

1.4.2. Módulo de tinta

La sección de impresión del equipo cuenta con cuatro módulos de tinta, denominados de esa manera debido a que en ellos es donde se realiza el proceso de impresión de las láminas de cartón. Durante esta etapa del proceso las láminas no poseen una forma definida como una caja de cartón, pero sí poseen un área delimitada en donde se aplicará la tinta y que posteriormente será delimitada por los cortes y dobleces que darán la forma final a la caja. El módulo de tinta de dicha impresora está compuesto por diferentes partes que logran la sincronización y operación del equipo. Entre las partes principales pueden mencionarse las siguientes:

1.4.2.1. Pluma dosificadora de tinta

Esta parte del módulo de tinta es la encargada de dosificar la tinta sobre el rodillo anilox; para tal función cuenta con una bomba de tinta la cual succiona la misma desde un tanque de almacenamiento ubicado al frente del módulo.

Una vez la tinta es extraída del tanque, esta es enviada a la plumilla dosificadora donde posee una tubería capilar, la cual se encarga de irrigar la tinta sobre el rodillo anilox, y seguidamente quita el exceso de la misma y la redirige por un conducto de nuevo al tanque de almacenamiento.

1.4.2.2. Rodillo anilox

Este rodillo, como se mencionó anteriormente, es el encargado de almacenar la tinta proveniente de la pluma dosificadora y depositarla sobre el grabado que se encuentra en el rodillo de impresión. Para tal función, dicho rodillo cuenta con un diseño específico, el cual contiene en la superficie del mismo una textura parecida a la de un panal, compuesta de varias celdas alrededor del mismo; estas celdas son las encargadas de contener la cantidad específica de tinta, con lo cual se logra una gran eficiencia y una impresión de alta calidad sin exceso o carencia de tinta.

1.4.2.3. Rodillo portaclisé o de impresión

Este rodillo es el encargado de realizar la impresión sobre la lámina de cartón, para dicha función cuenta con una lámina intercambiable denominada “clisé” o “portagrabado” colocada en la periferia superficial del cilindro; dicha lámina es la que contiene el diseño que será impreso sobre la lámina de cartón; asimismo es la que contendrá la tinta dosificada por el rodillo anilox.

El grabado consiste en una lámina delgada hecha de un material flexible que suele ser un polímero de baja densidad, debido a que debe de ser blando para acoplarse a la forma del cilindro y poder ser trabajado de una forma sencilla para la realización del grabado sobre el mismo.

1.4.2.4. Rodillo de contrapresión

Este rodillo es el encargado de ejercer una fuerza contraria sobre el rodillo de impresión, con la finalidad de lograr una mejor impresión sobre la lámina de cartón. Esto sucede debido a que la lámina pasa entre estos dos últimos rodillos al momento de la impresión. El rodillo de contrapresión está hecho de hierro en su núcleo, pero posee un revestimiento de hule con lo cual no lastima las láminas de cartón al momento de su paso.

1.4.2.5. Rodillos jaladores

En el módulo de tinta, está una serie de cinco rodillos pequeños ubicados a lo largo del módulo de impresión, que cuentan con anillos o rodos encargados de halar la lámina durante su paso por la impresora. Están hechos de hierro, lo cual los hace ligeros pero resistentes.

Todos los rodillos con los que cuenta el módulo de tinta poseen un sistema de ajuste variable, el cual es realizado por medio de una rueda excéntrica que consta de un engranaje independiente, que al graduarlo ejerce tracción sobre el engrane de los rodillos, con lo cual logra realizar un ajuste en cuanto a su posición y desplazamiento vertical, acercándolo o alejándolo uno con otro, según sea el requerimiento de la producción; esto en función del tipo de lámina a imprimir o cantidad de tinta a dosificar.

Figura 8. **Ejes componentes del módulo de tinta**



Fuente: instalaciones de la empresa.

1.4.3. Módulo de *slotter* (corte)

Este módulo está compuesto al igual que los vistos anteriormente por un conjunto de ejes provistos por un conjunto de cuchillas afiladas que son las encargadas de realizar los cortes sobre las láminas ya impresas, para poder dar a la caja la forma y tamaño requerido. Este módulo cuenta con los siguientes rodillos para la realización de sus funciones:

1.4.3.1. Rodillo de corte superior

Este tipo de rodillo se encuentra tanto en la entrada como la salida del módulo, están provistos de cuchillas de corte tipo macho, que coinciden con las cuchillas del rodillo inferior, estas cuchillas son intercambiables, y se pueden

ajustar a lo largo del rodillo para ubicarlas en los lugares de corte, esto dependiendo del tipo y tamaño de caja a trabajar.

1.4.3.2. Rodillo de corte inferior

Este rodillo está provisto, al igual que el anterior, de cuchillas de corte; pero estas son de tipo hembra, de igual manera que el rodillo superior; se pueden ajustar a lo largo del mismo, dependiendo de los requerimientos del empaque a cortar. Estos rodillos están ubicados tanto en la entrada como la salida del módulo.

1.4.3.3. Tornillo sin fin

Este módulo está provisto por un juego de seis tornillos sin fin, cuya función es realizar ajustes en cuanto a la aproximación entre las cuchillas, tanto en el rodillo superior como en el inferior, con lo cual se logra el posicionamiento de las cuchillas a lo largo de los ejes de corte, moviéndolas de una forma sincronizada para que mantengan su paralelismo. Dicho movimiento es posible con la ayuda de motores que trabajan independiente a la operación del módulo y le brindan tracción a los tornillos mediante un sistema de *sprockets* y cadenas.

1.4.3.4. Rodillos jaladores

Estos ejes se encuentran ubicados en el centro del módulo en la parte media entre los rodillos de corte de entrada y salida del módulo; este pequeño conjunto está compuesto por cuatro ejes, provistos de anillos jaladores que son los que se encuentran en contacto con el empaque. Estos anillos se pueden ajustar a lo largo de todo el eje, debido al tipo de caja que se esté trabajando.

Figura 9. **Componentes del módulo de *slotter***



Fuente: instalaciones de la empresa.

1.4.4. Módulo de troquel

Este módulo es el encargado de realizar un diseño extra sobre la caja, pero esta clase de diseño está dado por cortes extras, los cuales pueden servir para realizar orificios en la misma, o dependiendo de la presión aplicada, solo se pueden generar líneas guías para las acciones de abre fácil o dobleces. El módulo de troque consta de tres elementos importantes:

1.4.4.1. Rodillo portatroquel

Este es el rodillo encargado de la realización de los diseños sobre el empaque, está compuesto por un cilindro de hierro, el cual posee unos orificios en su perímetro y a lo largo del mismo, estos sirven para la colocación y ajuste del troquel sobre el eje.

1.4.4.2. Troquel

El troquel consiste en uno o más segmentos de cilindro con un diámetro interno igual al cilindro portatroquel. La base del mismo está hecha de madera, a la cual en la superficie se le coloca el diseño que se realizará en el empaque; este armado está compuesto por cuchillas que se encargarán de realizar los cortes y dobleces sobre la caja, así como por segmentos de goma espuma; esta goma sirve para que al momento que el empaque pasa por el troquel no se quede incrustado en el mismo, sino que la cuchilla pueda entrar en él y salir fácilmente sin dañar el empaque.

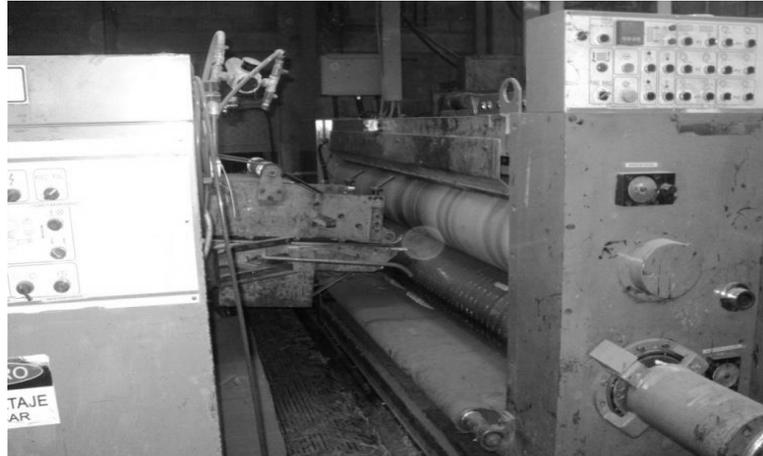
1.4.4.3. Rodillo de contrapresión

El rodillo de contrapresión está ubicado en la parte inferior del sistema, y es el encargado de generar un soporte de presión para que se realice de buena forma la impresión de corte por parte del rodillo de troquel. Esto se da gracias a que el rodillo de contrapresión está hecho de un material lo suficientemente resistente y blando para servirle de apoyo a las cuchillas del troquel, las cuales penetran el cartón hasta la profundidad adecuada, haciendo presión con este rodillo. La espuma semirrígida de este permite que el cartón no se doble por la presión y que al mismo tiempo sea blando para no aplastarlo.

1.4.4.4. Eje de ajuste

Es el que se encarga de realizar la graduación adecuada para acercar o alejar al eje de contrapresión; consiste en una barra delgada, con rosca de tornillo sin fin, que al moverla hacia la derecha o izquierda, logra hacer que varíe la distancia entre rodillos, con lo cual se puede ajustar al tamaño del tipo de cartón con el que se está trabajando.

Figura 10. **Vista lateral del módulo de troquel**



Fuente: instalaciones de la empresa.

1.4.5. Puente de la impresora

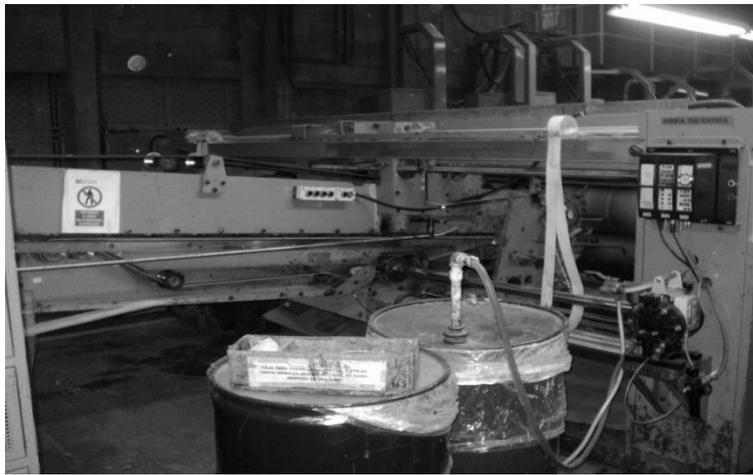
El puente es la parte secundaria del equipo de impresión que se encarga de dosificar la cantidad adecuada de goma, así como de realizar los dobleces acordes y llevar las cajas por medio de bandas transportadoras hasta el final de la línea de producción donde se estiban y guardan los empaques terminados.

1.4.6. Engomador

Es el sistema que se encuentra en la entrada del puente, como su nombre lo indica es el encargado de colocar la goma en las pestañas de la caja, cuando estas se encuentran desplegadas, para que posteriormente, con el movimiento de las bandas, la caja se vaya cerrando y se pegue una pestaña con la otra y le dé la forma cuadrada a la caja. Para realizar tal función el sistema cuenta con una bomba neumática, la cual es controlada electrónicamente, mediante el panel de control del sistema, el cual censa cada caja que va saliendo de la

cortadora y entrando al engomador, para activarlo por un breve instante y dosificarlo. La bomba utilizada es especial, como la que se utiliza en los módulos de tinta de la impresora.

Figura 11. **Vista de módulo de engomador y bomba neumática de dosificación**

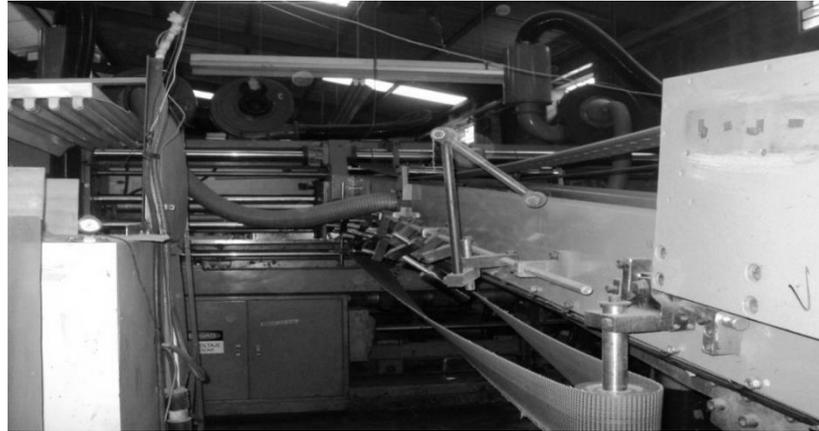


Fuente: instalaciones de la empresa.

1.4.7. Dobladora

La dobladora es la parte del puente compuesta por una serie de rodillos y bandas transportadoras, las cuales tienen la función de transportar los empaques impresos troquelados y cortados, provenientes de la impresora hacia la mesa final de embalaje; durante este paso las cajas son dobladas y pegadas hasta darle la forma correcta.

Figura 12. **Vista de la sección del puente y la dobladora**



Fuente: instalaciones de la empresa.

1.4.8. Cuadrador

Es un sistema complementario del puente que se encarga de recibir las cajas dobladas y pegadas provenientes del doblador; su función es acumularlas en grupos de varias cajas, las cuales están siendo presionadas con una paleta metálica movida por un sistema de leva; el objetivo de este movimiento es que la caja cuadre sus lados, de manera que queden de una forma uniforme y paralela para que el pegado quede bien y se tenga la menor cantidad de cajas descuadradas de los bordes y mal pegadas.

Figura 13. **Vista frontal del módulo del cuadrador**



Fuente: instalaciones de la empresa.

1.4.9. Mesa final de embalaje

Esta es la parte final del proceso de impresión, aquí las cajas ya pegadas, dobladas y cuadradas son acumuladas en grupos de 10 unidades; las mismas son embaladas, colocándoles una protección de *nylon* y unos cinchos plásticos para atar los grupos. Luego son almacenadas en grupos mayores de varias decenas y colocadas en tarimas, las cuales se guardan en el almacén de producto terminado. Este es el último proceso del producto antes de ser cargado a los vehículos que lo transportarán a los usuarios finales.

Figura 14. **Vista lateral de la sección del contador y la mesa final de salida**



Fuente: instalaciones de la empresa.

2. ANÁLISIS EN MEJORAS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE VAPOR

La fase de investigación realizada en la empresa productora de empaques conllevó el estudio de la operación normal de una caldera pirotubular marca Johnson, en cuanto a la eficiencia teórica del ciclo termodinámico de vapor. Asimismo, se realizó el estudio de los mismos puntos luego de la implementación de un sistema de incremento de eficiencia llamado Baviera.

2.1. Tipos de calderas

Las calderas o generadores de vapor son equipos industriales que, utilizando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria.

Hasta principios del siglo XIX se usaron calderas para teñir ropas y producir vapor para limpieza, hasta que fue creada una pequeña caldera llamada "marmita". Se usó vapor para intentar mover la primera máquina homónima, la cual no funcionaba durante mucho tiempo, ya que utilizaba vapor húmedo (de baja temperatura) y al calentarse esta dejaba de producir trabajo útil. La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papin en 1769, y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776.

Dentro de los diferentes tipos de calderas se han construido calderas para tracción, utilizadas en locomotoras para trenes, tanto de carga como de pasajeros. Se ve una caldera multihumotubular con haz de tubos móviles, preparada para quemar carbón o lignito.

El humo, es decir los gases de combustión caliente, pasan por el interior de los tubos, cediendo su calor al agua que rodea a esos tubos. Dentro de los tipos de calderas más utilizados en la industria están los siguientes:

2.1.1. Calderas humotubulares o pirotubulares

En estas calderas son los humos que circulan por dentro de tubos mientras que el agua se calienta y evapora en el exterior de ellos. Todo este sistema está contenido dentro de un gran cilindro que envuelve el cuerpo de presión.

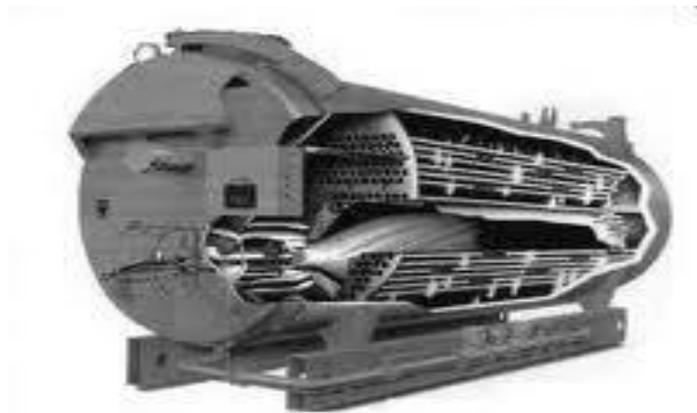
La caldera de vapor pirotubular, concebida especialmente para aprovechamiento de gases de recuperación presenta las siguientes características:

El cuerpo de caldera está formado por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal, incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor.

- La circulación de gases se realiza desde una cámara frontal dotada de brida de adaptación, hasta la zona posterior donde termina su recorrido en otra cámara de salida de humos.
- El acceso al lado de los gases se realiza mediante puertas atornilladas y abisagradas en la cámara frontal y posterior de entrada y salida de gases, equipadas con bridas de conexión. En cuanto al acceso al lado del agua se efectúa a través de la boca de hombre, situada en la bisectriz superior del cuerpo y con tubuladoras de gran diámetro en la

bisectriz inferior y placa posterior, para facilitar la limpieza de posible acumulación de lodos.

Figura 15. **Caldera pirotubular de dos pasos**



Fuente: *Máquinas industriales*. <http://lasmaquinasindustriales.blogspot.com/2010/12/descripcion-general-de-una-caldera.html>. Consulta: 25 de agosto de 2015.

2.1.2. Calderas acuatubulares

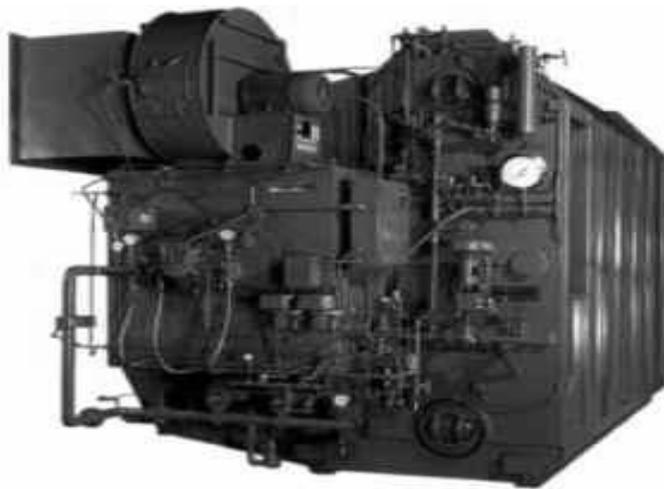
Por dentro de los tubos circula agua y la mezcla de agua y vapor. Por fuera, generalmente el flujo cruzado, intercambian calor los humos productos de la combustión. En este tipo de calderas, además, el hogar (recinto donde se produce la combustión) está conformado por paredes de tubos de agua. En ellas el intercambio es básicamente por radiación desde la llama.

Las calderas acuatubulares eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor, para accionar las máquinas a vapor de principios de siglo. En estas calderas, los tubos longitudinales interiores se emplean para aumentar la superficie de calefacción y están inclinados para que

el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta, provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja. Originalmente estaban diseñadas para quemar combustible sólido.

La producción del vapor de agua depende de la correspondencia que exista entre dos de las características fundamentales del estado gaseoso, que son la presión y la temperatura.

Figura 16. **Caldera acuatubular**



Fuente: Google. <http://html.rincondelvago.com/calderas-o-generadores-de-vapor.html>.

Consulta: 25 de agosto de 2015.

2.2. Eficiencia del ciclo de Rankine simple en una caldera pirotubular

Este ciclo termodinámico es uno de los que posee mayor aplicación en la industria debido a que es el uno de los ciclos más básicos para comprender y aplicar en los procesos termodinámicos. La empresa de empaques cuenta con un sistema de producción de vapor, el cual es generado mediante la utilización de una caldera tipo pirotubular, marca Johnson. Esta caldera posee una

potencia de 300 HP, con lo que logra satisfacer de buena manera los requerimientos del sistema.

La aplicación de esta caldera es directamente sobre la línea de producción del cartón corrugado, denominada línea de corrugación. En la cual existen diversos equipos que son los que sirven de intercambiador de calor entre el vapor y las bobinas de papel que dan origen al cartón.

El presente estudio se centra en el análisis del sistema de producción de vapor, se comprueba la eficiencia con la que opera la caldera normalmente, operando con un ciclo de vapor tipo Rankine simple. Posteriormente, se realizará un segundo estudio ya modificado mediante el sistema Baviera; esto brindará la posibilidad de ejemplificar la ganancia en cuanto al ahorro de combustible e insumos para la producción de vapor.

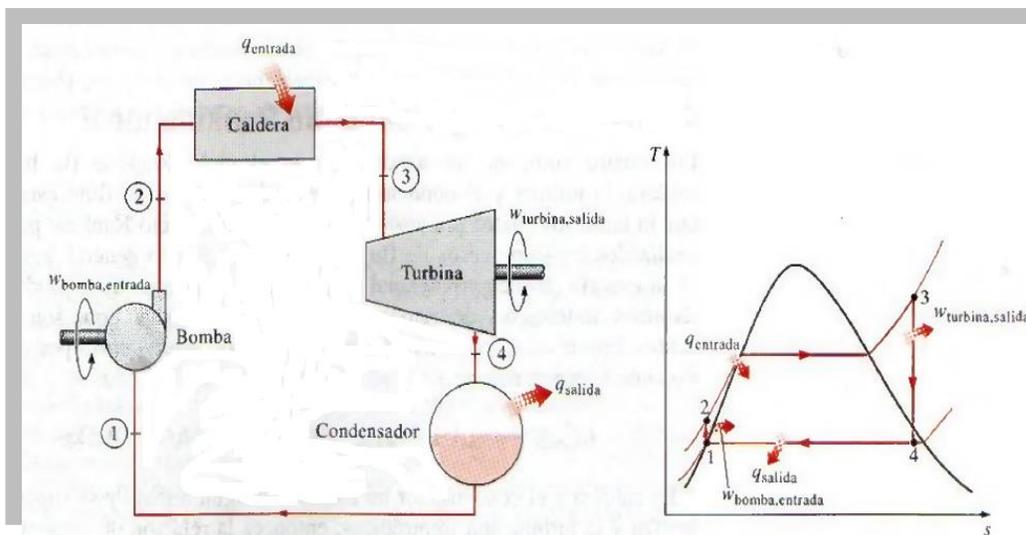
2.2.1. Ciclo de Rankine simple

Se refiere al ciclo termodinámico en el que se relaciona el consumo de calor con la producción de trabajo. Como otros ciclos termodinámicos, la máxima eficiencia es dada por el cálculo de la eficiencia del ciclo de Carnot. Este ciclo debe su nombre al de su desarrollador, el ingeniero escocés William John Macqun Rankine.

El ciclo de Rankine es un ciclo de producción de fuerza mediante el aprovechamiento del calor que posee el vapor de agua, mismo que es producido por una caldera y transportado por medio de tuberías hacia los equipos que tomarán esta energía para producir movimiento o transferencia de calor según requiera el proceso. Luego del aprovechamiento de esta energía por parte de los equipos, el vapor de baja

presión (estado de mezcla) retorna por las líneas de condensado al tanque de expansión (condensador) y posteriormente es bombeado nuevamente a la caldera e iniciar el ciclo.

Figura 17. **Diagrama T-S de un ciclo Rankine con vapor de alta presión sobrecalentado**



Fuente: CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. p. 599.

2.3. Análisis de eficiencia del ciclo Rankine de una caldera Johnson de 300 HP

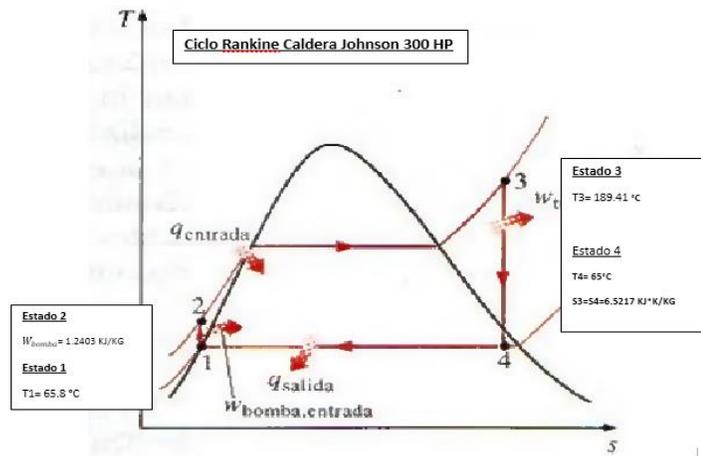
Combustible: bunker C

Poder calorífico combustible = 10 400 Kcal/Kg

$$\text{Densidad} = 936,6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ a } 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Consumo de combustible promedio = 850 gl/día (24 hrs) = 35,41 gl/hora
 = 125 lt/hora = 125,5 Kg/h.

Figura 18. **Ciclo Rankine caldera Johnson 300 HP**



Fuente: CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. p. 600.

Características del equipo:

Potencia: 300 HP

Tipo: caldera pirotubular

Datos

Estado 1

$P_1 = 25,043 \text{ KPa}$

$T_1 = 176 \text{ °F} = 65,8 \text{ °C}$

$V_f = 0,001020$

$H_1 = 272,12$

$S = 0,8937$

Estado 2

$$W_{bomba} = V(P_2 - P_1)$$

$$W_{bomba} = (0,001020) * (1241,05 \text{ KPa} - 25,043 \text{ KPa})$$

$$W_{bomba} = 1,2403 \text{ KJ/KG}$$

$$W_b = H_2 - H_1$$

$$H_2 = W_b + H_1 = (1,2403 + 272,12)$$

$$H_2 = 273,36$$

Estado 3

$$P_3 = 180 \text{ PSI}$$

$$P_3 = 180 \text{ PSI} * 6,89472 = 1241,05 \text{ KPa}$$

Tabla II. Interpolación

Presión MPa	Temperatura °C	Entalpía h	Entropía S	Volumen v
1,2	187,96	2 783,8	6,5217	0,16326
1,241	189,41317	2 785,45	6,5106	0,15864
1,25	189,73	2 785,82	6,5082	0,15764
1,4	195,04	2 788,9	6,4675	0,14078

Fuente: elaboración propia.

Estado 4

$$P = 25,04 \text{ KPa}$$

$$S_3 = S_4 = 6,5217$$

$$T = 65 \text{ °C}$$

$$X_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} = \frac{6,5217 - 0,8932}{6,9370} = 0,8114$$

$$h_4 = h_f + X_4 + h_{fg} = 271,96 + (0,8114) * (2345,5) = 2175,1$$

Eficiencia del ciclo

$$Q_{in} = h_3 - h_2 = 2785,08 - 273,36 = 2511,72$$

$$Q_{out} = h_4 - h_1 = 2175,1 - 272,12 = 1902,98$$

$$\rho = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{1902.98}{2511.72} = 0.2424 = 24\%$$

2.4. Análisis de las mejoras al ciclo termodinámico de una caldera pirotubular

El ciclo de Rankine normal puede ser más eficiente de diferentes maneras; esto es posible realizando mejoras al mismo, así como evitando la menor cantidad de pérdidas de calor durante su transporte y retorno del vapor en el proceso termodinámico. La caldera pirotubular que se encuentra en planta de producción de la empresa de empaques, cuenta con una mejora en cuanto a la reutilización y mejor aprovechamiento del fluido (vapor de agua) que viaja en la línea de retorno de condensado. Su principal ventaja es el aprovechamiento del calor y presión que posee el vapor cuando retorna al condensador proveniente de los equipos de consumo de vapor.

El ciclo de Rankine que presenta la caldera Johnson ubicada en la empresa tiene las siguientes características: luego del aprovechamiento del calor por medio de los equipos, el fluido condensado regresa al tanque de expansión (condensador); durante esta trayectoria el fluido se encuentra en un estado de mezcla o vapor húmedo con una temperatura de alrededor de (150 a 160 °C).

Debido a la configuración del sistema, el fluido debe de condensarse en el tanque (depósito alimentación de agua) hasta volverse por completo líquido saturado, a una temperatura aproximada de 90 °C (tomados con termómetro digital del tanque de condensado), esto se realiza para que el sistema pueda operar de buena manera, debido a que de otra forma, la bomba de alimentación de la caldera puede presentar daños al succionar el fluido en estado de mezcla.

Las mejoras realizadas a este tipo de configuración de ciclo Rankine adoptado en la planta de producción, están enfocadas directamente en el aprovechamiento del poder calorífico con el que cuenta el fluido al retorno en la línea de condensado. Estas mejoras son posibles mediante la implementación del sistema Baviera.

2.4.1. Sistema Baviera

El sistema Baviera cuenta con una configuración dispuesta de tal manera que logran incrementar la eficiencia del ciclo termodinámico, mediante el aprovechamiento del fluido de condensado, proveniente de los equipos. Para tal propósito posee dispositivos que se enunciarán a continuación, los cuales logran el aprovechamiento de la entalpia del condensado. Entre los principales componentes del sistema están:

- Separador de fases: este dispositivo es el encargado de realizar la separación del fluidos en la línea de condensado, el cual se presenta en estado de mezcla, separando el vapor a alta temperatura del líquido sobrecalentado. Este último es enviado por una línea a una bomba especial del sistema, la cual se encarga de tomar este fluido y alimentar a la caldera.
- Bomba de alimentación: posee un diseño y materiales especializados, que tienen la capacidad de operar bajo las condiciones en las cuales se encuentra el fluido proveniente de la línea de condensado. Este fluido se encuentra en un rango de temperaturas a la entrada de la bomba entre 160 °C a 172 °C (tomado con termómetro digital térmico). Debido a estas condiciones severas de alta temperatura, la bomba posee sellos diseñados de materiales de alta resistencia térmica (cerámicos) y antidesgaste, puesto que su ciclo de operación es bastante extenso.

La función principal de la bomba de alimentación, es tomar el fluido proveniente de la línea de retorno de condensado del ciclo térmico, una vez que esta haya pasado por el separador de fases del sistema, para evitar que la bomba trabaje con un fluido en forma gaseosa; luego de la separación, el líquido a alta temperatura es bombeado hacia la caldera, donde se le vuelve a aumentar la temperatura, hasta alcanzar la presión y temperatura de operación requerida por el sistema.

Figura 19. **Sistema Baviera para eficiencia del equipo de vapor**



ID	Elemento
1	Línea de retorno de condensado
2	Válvula principal de retorno de condensado
3	<i>Bypass</i> graduación presión del sistema
4	Manómetros de verificación diferencia de presión del sistema
5	Separador de fases sistema Baviera
6	Bomba de alimentación (retorno de condensado)
7	Línea de alimentación de caldera

Fuente: instalaciones y archivos de la empresa.

2.4.2. Eficiencia del ciclo aplicando el sistema Baviera

En este sistema se logra la optimización del rendimiento energético de manera simultánea a la optimización de la transferencia térmica, tomando en cuenta los siguientes estados:

Estado 1

$$P = 1137,63 \text{ KPA}$$

$$T = 150 \text{ °C}$$

$$S = 6,5414 \text{ KJ/Kg K}$$

$$H = 2781,67 \text{ KJ/Kg}$$

$$V = 0,1730$$

Tabla III. Vapor de agua saturado, interpolación

Presión MPA	Temperatura °C	Entalpía h KJ/Kg	Entropía S KJ/Kg*K	Volumen m ³ /Kg
1,00	179,88	2 777,1	6,5850	0,19436
1,13765	185,44	2 781,67	6,5414	0,1730
1,2	187,96	2 783,8	6,5217	0,16326

Fuente: elaboración propia.

Estado 2

$$P = 265 \text{ PSI} = 1 827,11 \text{ KPA}$$

$$W_{\text{bomba}} = V (P_2 - P_1)$$

$$W_{\text{bomba}} = (0,173 \text{ m}^3/\text{Kg}) * (1 827,11 - 1 137,63 \text{ KPA})$$

$$W_{\text{bomba}} = 119,28 \text{ KJ/Kg}$$

$$W_{\text{bomba}} = h_2 - h_1$$

$$H_2 = W_{\text{bomba}} + h_1 = 119,28 + 2781,67 = 2900,95 \text{ KJ/Kg}$$

Estado 3

$$T = 175 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P = 1\,250 \text{ KPA}$$

Tabla IV. **P = 1,2 MPA, interpolación**

Presión MPA	Volumen	Entalpía	Entropía
1,2	0,16326	2 783,8	6,5217
1,250	0,15764	2 785,1	6,5082
1,4	0,14078	2 788,9	6,4675

Fuente: elaboración propia.

Estado 4

$$P = 165 \text{ PSI} = 1137,63 \text{ KPA}$$

$$T = 150 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tabla V. **Interpolación, presión y entropía**

Presión P KPA	Entropía S KJ/kg*K	Entropía mezcla Sfg
1 100	2,1785	4,3735
1 137,67	2,1926	4,3480
1 200	2,2159	4,3058

Fuente: elaboración propia.

$$S3 = S4$$

$$X4 = (S4 - S_f) / S_{fg} = (6,5082 - 2,2159) / 4,3480 = 0,9872$$

$$H4 = h_f + X \cdot S_{fg} = 2781,67 \text{ KJ/Kg} + (0,9872) \cdot (4,3480) = 2785,96 \text{ KJ/Kg}$$

$$\eta = 1 - Q_{out} / Q_{in} = 1 - (h4 - h1) / (h3 - h2) = 1 - ((2785,96 - 2781,67) / (2785,1 - 2900,95)) = 1 - 0,0373 = 0,9627 = 96 \% \text{ eficiencia teórica del ciclo (sistema Baviera)}$$

Eficiencia de la caldera:

$$\eta = \frac{(m_{fw} - m_b) \cdot (h_w + 0,98 \Delta H - h_{fw})}{m_{fl} \cdot H_f}$$

$$\eta = \frac{(2\,250 - 200) \cdot (822,756 + 0,98(1965,01) - 220,8)}{125 \cdot 10\,400}$$

$$\eta = \frac{(2\,050) \cdot (540,67)}{1\,300\,000} = 0,853 = 85 \%$$

Factor de carga de la caldera:

$$LF = 100 \frac{m_{fw} - mb}{m_{fwmax}} = 100 \frac{2\,250 - 200}{3\,000} = 68,33 \%$$

Donde

$$m_{fw} = \text{rango de agua de alimentación} \left(\frac{Kg}{h} \right), = 2\,250 \text{ Kg/h}$$

$$mb = \text{rango de purga de la caldera} \left(\frac{kg}{h} \right) (\text{purga continua}) = 200 \text{ Kg/h}$$

$$h_w = \text{entalpía específica del agua saturada} \left(\frac{KJ}{KG} \right) = 822,756 \text{ (Kj/Kg)}$$

$$\Delta H = \text{calor latente del vapor} \left(\frac{KJ}{KG} \right) = 1965,01 \left(\frac{Kj}{Kg} \right)$$

$$h_{fw} = \text{entalpía específica del agua de alimentación} \left(\frac{Kj}{Kg} \right) = 2207,08 \left(\frac{Kj}{Kg} \right)$$

$$m_{fl} = \text{consumo de combustible} \left(\frac{Kg}{h} \right) = 125 \text{ Kg/h}$$

$$H_f = \text{valor calorífico del combustible} \left(\frac{Kcal}{Kg} \right) = 10\,400 \text{ Kcal/Kg}$$

Los valores anteriores respecto de las propiedades del agua fueron obtenidos a partir de la investigación de Cengel y Boles (2013).

Interpretación: luego de realizados los cálculos teóricos sobre la eficiencia del ciclo termodinámico haciendo uso del sistema Baviera, puede observarse que existe un aumento significativo en comparación con el ciclo termodinámico de Rankine simple. Esto se puede confirmar con la información brindada por el jefe de mantenimiento de la empresa (cálculo del valor real de eficiencia del ciclo). Los beneficios en cuanto a eficiencia que presenta este ciclo termodinámico radican en el aprovechamiento de la entalpía proveniente del vapor de condensado, cuando viaja por la línea de retorno antes de ingresar al condensador.

La información referente en cuanto a la configuración específica y valores que presenta el sistema Baviera no es posible adjuntarlos en este trabajo de investigación debido a que la empresa responsable de su uso y dueña del sistema Baviera, se reserva el derecho de propiedad intelectual.

3. MEJORAS EN UNA IMPRESORA INDUSTRIAL FLEXOGRÁFICA DE CARTÓN CORRUGADO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN ISO 9001:2008

3.1. Mejoras a una impresora flexográfica

El equipo que es el motivo de esta investigación, como se mencionó anteriormente, es una impresora flexográfica de cartón corrugado. La cual se ha descrito en los capítulos anteriores.

Dentro de los aspectos que se busca mejorar para este equipo es el estado actual de la aplicación de los métodos y prácticas de mantenimiento, a fin de generar un mantenimiento preventivo y predictivo de alto desempeño, que pueda garantizar la operación continúa de los equipos, evitando paros inoportunos debidos a fallas en la línea de producción. Para lograr este objetivo se ha tomado como base el mantenimiento que actualmente se le brinda a la impresora, implementándole al mismo el soporte del sistema de gestión de la calidad ISO 9001-2008, el cual brindará las pautas que designarán la realización de operaciones y actividades de forma estandarizadas, las cuales pueden ser medidas para corroborar su efectividad y eficiencia.

Asimismo, se logra aumentar la calidad de los trabajos realizados sobre el equipo y llevar un registro más preciso de las operaciones y actividades de los mismos, con lo que se podrá realizar una predicción de futuras reparaciones. Esto beneficiará no solo al mejor cuidado de los equipos, sino también a evitar

los tiempos muertos en producción ocasionados por malas prácticas de mantenimiento o un pobre sistema de mantenimiento preventivo y predictivo.

3.1.1. Estado actual del equipo de impresión

El equipo de impresión actualmente se encuentra en una condición de mantenimiento preventivo, con descuidos en la calidad de sus mantenimientos, lo cual incurre en averías frecuentes. Dentro de las condiciones de mantenimiento actual se observa que se está iniciando un plan de mantenimiento preventivo, el cual tiene como objetivo realizar un seguimiento de las condiciones de operación del equipo, en busca de reducir las reparaciones por mantenimientos correctivos.

Uno de los principales inconvenientes con el mantenimiento es que carece de registros, los cuales puedan generar datos válidos y reales que sirvan para tomar decisiones de reparaciones necesarias en los equipos, a manera de evitar fallas severas en los mismos.

Actualmente, el Departamento de Mantenimiento cuenta con un grupo de colaboradores, quienes son los encargados de cubrir las distintas fallas en los equipos, y están distribuidos de la siguiente manera: cinco electromecánicos, tres aprendices y cinco soldadores. Ellos son los responsables de la ejecución de las tareas de mantenimiento en la planta de producción. El personal encargado de la dirección del departamento de mantenimiento es responsable de la buena ejecución del mismo, para asegurar que los equipos puedan funcionar de una manera óptima.

La metodología para la generación y asignación de órdenes de trabajo viene dada de la siguiente manera: el departamento de producción es el

encargado de realizar las solicitudes de mantenimiento requeridas por los equipos; estos tipos de solicitud pueden ser variables, dependiendo de la avería y considerando qué tanta incidencia tiene en el proceso de producción.

El Departamento de Mantenimiento se encarga de clasificar las solicitudes de trabajo en órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo de urgencia (son las más críticas porque afectan la calidad), órdenes de trabajo correctivo de urgencia menor u órdenes de mantenimiento preventivo. Estas últimas se originan cuando se notan pequeños desperfectos en los equipos, como variaciones en los parámetros de operación, pero que no incurren en un problema serio para el equipo; si se ignoran, pueden ocasionar serios problemas en el futuro próximo, volviéndose un mantenimiento correctivo de urgencia. Además de lo anterior, al momento de realizar un trabajo de mantenimiento, en la orden se debe de colocar cuál fue la falla, método de solución y si el trabajo fue provisional o definitivo.

Dentro de las labores de mantenimiento los problemas más frecuentes que surgen son la calidad y el seguimiento que se le da a las mismas. Debido a que en situaciones surge que las averías se resuelven de una forma no permanente y se queda así por un tiempo prolongado, esto conlleva a que la avería vuelva a aparecer y ocasione nuevas fallas.

Otro de los inconvenientes asociados a problemas de mantenimiento son los que se originan cuando se ejecutan de mala manera los trabajos, debido a que esto trae como resultado que se confíe de la calidad del trabajo, cuando este en realidad no quedó hecho de buena manera, ocasionando que aparezcan nuevas averías o reaparezcan las mismas en periodos cortos de tiempo, lo que ocasiona paros en producción, que traen consigo tiempos muertos de operación y pérdidas en producción, que elevan el costo de

mantenimiento. Independientemente de ello, el mantenimiento busca hoy en día aumentar su nivel de calidad, para asegurar y garantizar la operación de los equipos, así como garantizar la producción misma.

Sin embargo, para lograr este objetivo el Departamento de Mantenimiento busca que dentro de las mejoras en el sistema de mantenimiento se realice una gestión, la cual garantice buenas prácticas para su ejecución y una calendarización más precisa con seguimiento continuo de los trabajos realizados por equipo. Todo esto busca generar suficiente información de mantenimiento, para la generación de un mantenimiento predictivo.

3.2. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento es la serie de tareas o trabajos que hay que ejecutar en algún equipo o planta, a fin de conservarlo eficientemente para que pueda brindar el servicio para el cual fue creado.

Para el departamento de maquinaria, el objetivo del mantenimiento es la conservación, ante todo del servicio que está suministrando la maquinaria este es el punto esencial y no como erróneamente se ha creído, que el mantenimiento está obligado a la conservación de tales elementos. El servicio es lo importante y no la maquinaria o equipo que los proporciona. Por lo tanto, se deben equilibrar los factores esenciales siguientes: calidad económica del servicio, duración adecuada del equipo y costos mínimos de mantenimiento.

La adquisición de equipo nuevo acarrea costos elevados, pues inicialmente su depreciación es muy acelerada, aunque se compensa, ya que necesita menos gastos de mantenimiento y la expectativa de falla es menor.

Conforme transcurre el tiempo, el equipo se va deteriorando y sus componentes van sufriendo desgastes, que necesariamente obligan a un aumento de las frecuencias de fallas de servicio y los costos de mantenimiento se incrementan; además, el cambio de repuestos es más costoso debido a la dificultad de obtenerlos, por no tener existencia en las bodegas y que el fabricante no garantice la existencia de estos por períodos muy grandes.

Por otro lado, un aumento en la frecuencia de fallas del servicio causa pérdidas en el ingreso que origina la prestación del mismo, de tal manera que estos costos aumentan en forma considerable, hasta ser prácticamente prohibitivos al final de la vida de la maquinaria.

3.2.1. Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento se basa en ejecutar las correcciones menores a la maquinaria para adaptarla mejor al medio. Son reparaciones serias que requieren de una revisión completa o reconstrucción, ya que a veces es mejor realizar algunas correcciones a la maquinaria para reducir los costos, tanto de operación como de servicio, y no prolongarlos.

Estas correcciones requieren de personas especializadas y bajo una rigurosa supervisión de ingenieros, así como del distribuidor, y guiarse con el manual del fabricante, para no perder la potencia de la máquina o perjudicar su funcionamiento. También se puede dar al momento de realizar una rutina de mantenimiento preventivo.

3.2.2. Mantenimiento preventivo

Al mantenimiento preventivo se le puede definir como la conservación planeada, y llega a tener como función conocer sistemáticamente el estado de las máquinas y equipo para programar, en los momentos más oportunos y de menos impacto, en la tarea que debe realizar.

El mantenimiento preventivo se refiere a que no se debe esperar a que las máquinas fallen para hacerles una reparación, sino que se programen los recambios con el tiempo necesario antes de que esto suceda; esto se puede lograr conociendo las especificaciones técnicas de los equipos a través de sus manuales específicos.

El objetivo de este mantenimiento no se circunscribe a lo que es adecuado para el equipo, sino que su meta es considerar el trabajo. Se le da servicio a la maquinaria y equipo, considerando el efecto sobre la producción, seguridad personal y del equipo mismo. Se dice entonces que el mantenimiento preventivo se ha utilizado para indicar un sistema de programación en sus beneficios secundarios.

3.2.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo se basa en función de averías en la maquinaria o equipo que ya se han previsto, sea por algún medio estadístico o por las instrucciones del fabricante, aunque no ha se localizado en el tiempo.

Como ya se ha mencionado, el mantenimiento predictivo va a indicar o predecir qué piezas pueden ser remplazadas o protegidas, antes de que estas puedan fallar; además, permite planificar los recursos que se pueden utilizar

como la mano de obra, herramientas, materiales y repuestos que se han adquirido o localizado con anticipación.

Este método de mantenimiento tiene el inconveniente de que solo puede proteger elementos vitales y no fallas de elementos secundarios.

3.3. Sistemas del equipo

El equipo de impresión está compuesto por diversos sistemas que operan de forma independiente pero coordinados entre sí, para lograr que el equipo trabaje en forma óptima.

La impresora flexográfica posee una operación se realiza de una forma semiautomática, esto es así debido a que debe de ser el operador de la misma quien debe de calibrar el equipo, colocándolo en los puntos iniciales del mismo, denominados punto cero. Esto sirve para que la máquina quede sincronizada para comenzar a trabajar.

El equipo está compuesto por diversos sistemas, los cuales pueden ser: mecánicos, neumáticos, eléctricos, electrónicos e hidráulicos. Estos sistemas se coordinan para realizar un trabajo conjunto y coordinado que da como resultado el corte, impresión y diseño de los empaques. Cada uno de estos sistemas debe poseer un mantenimiento adecuado que garantice la funcionalidad del mismo. También se le pueda dar seguimiento a los problemas menores y mayores que puede presentar el equipo. A fin de poder predecir fallas futuras, se debe realizar una mejor gestión de mantenimiento correctivo y preventivo, garantizando la calidad del mismo, y el cumplimiento de las fechas de revisión, reparación y cambio de los sistemas.

3.4. Sistemas mecánicos

Dentro de los diversos elementos con los que cuenta el equipo de impresión flexográfica están los que comprenden la parte del sistema mecánico, el cual es el encargado de la transmisión de potencia en muchos de los casos, así como de la dinámica del movimiento de los elementos importantes que logran cumplir con la finalidad del equipo. Tal es el caso de los elementos que actúan conjuntamente para mover todos los rodillos de los cuales depende el equipo, como lo vimos anteriormente, el equipo está compuesto por diversos elementos cilíndricos los cuales son los cilindros de impresión Anilox, de presión y contrapresión entre otros.

Debido a la naturaleza de estos elementos, el mantenimiento se puede realizar de diversas maneras, dependiendo del estado y los requerimientos del sistema. El enfoque que busca dársele a la presente investigación es estudiar la gestión para garantizar un buen mantenimiento preventivo con las características de realizar buenas prácticas de mantenimiento, que den origen a un mantenimiento predictivo que logre garantizar buenos trabajos en mantenimiento y reducir las fallas.

Dado este enfoque de mantenimiento los sistemas mecánicos se visualizarán bajo el mantenimiento preventivo que la gestión y seguimiento del mismo den origen a la creación de un mantenimiento predictivo, que pueda diagnosticar el estado del equipo y cómo se desarrollará en el futuro, lo cual dará las pautas para la toma de decisiones, tanto en mantenimiento correctivo de prevención, como en producción.

Como es de conocimiento general, la mayoría de elementos mecánicos con los que cuenta el equipo de impresión son rodillos, los cuales realizan

diversas funciones; estos a su vez están unidos y relacionados en un extremo por un tren de engranes que se encarga de transmitir la potencia a lo largo de todo el equipo. Asimismo, el sistema está compuesto por una serie de cadenas, *sprockets* y tensores, los cuales auxilian en la transmisión de potencia.

Dados los elementos que posee este sistema, se le puede dar un mantenimiento basado en la lubricación de los mismos, así como de la revisión del estado actual de ellos para programar cambios.

3.4.1. Lubricación y tribología

La palabra tribología se deriva del griego “*tribos*” que quiere decir, fricción, logos, tratado; el cual puede entenderse como “frotamiento o rozamiento”, la traducción literal de la palabra podría ser, “la ciencia del frotamiento”. Esta palabra fue utilizada por primera vez el 9 de marzo de 1966; esta fecha se reconoce como el nacimiento de la tribología como una nueva disciplina científica.

En la actualidad la tribología se considera una ciencia interdisciplinaria y sin ella no sería posible el avance industrial, eficiente y rentable, pues se considera como una fuente de gran potencial para economizar recursos financieros, materia prima y materiales energéticos.

Una mayor productividad de los equipos se logra si se reduce al máximo la fricción de sus diferentes mecanismos. Hoy en día la lubricación no se considera una ciencia aislada, sino que está íntimamente relacionada con la fricción y el desgaste.

La tribología se centra en el estudio de tres fenómenos: la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno, y la lubricación como un medio para evitar el desgaste.

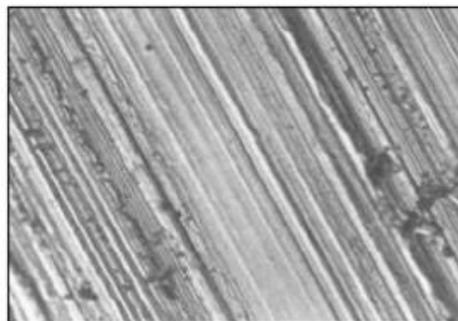
En las siguientes figuras se pueden observar daños generados por estos fenómenos.

Figura 20. **Efectos de la fricción en metales**



Fuente: VIVAS RIVERO, Zulima. *Estudio de la resistencia al desgaste de películas delgadas de*
Tl. p. 16.

Figura 21. **Visualización del desgaste en piezas metálicas**



Fuente: VIVAS RIVERO, Zulima. *Estudio de la resistencia al desgaste de películas delgadas de*
Tl. p. 16.

Figura 22. **Mantenimiento preventivo, lubricación en engranes**



Fuente: VIVAS RIVERO, Zulima. *Estudio de la resistencia al desgaste de películas delgadas de TI*. p. 18.

3.4.1.1. Fricción

Este efecto proviene de la existencia de fuerzas tangenciales que aparecen entre dos superficies sólidas en contacto cuando permanecen unidas por la existencia de esfuerzos normales a las mismas; en términos más sencillos, es la pérdida de energía durante el inicio, desarrollo y final del movimiento relativo entre dos materiales en contacto. Existen dos maneras de clasificar el fenómeno de fricción:

- Fricción externa: se presenta entre cuerpos diferentes.
- Fricción interna: se presenta entre partículas de un mismo cuerpo.

Existen varias formas de reducir la fricción entre los elementos. Entre estas están:

- Pulimiento de las superficies
- Cambiando el deslizamiento por rodamiento
- Interponiendo un lubricante

3.4.1.2. Desgaste

Consiste en la desaparición de material de la superficie de un cuerpo, como consecuencia de un movimiento relativo de otro cuerpo. Es un proceso en el cual las capas superficiales de un sólido se rompen o desprenden de la superficie. Al igual que la fricción, el desgaste no es solamente una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema. Los análisis de los sistemas han demostrado que el 75 % de las fallas mecánicas se deben al desgaste de las superficies en rozamiento. Se deduce fácilmente que para aumentar la vida útil de un equipo se debe disminuir el desgaste al mínimo posible. Entre los tipos de desgaste, generalmente se pueden encontrar los siguientes:

- Desgaste por fatiga: surge por concentración de tensiones mayores a las que puede soportar el material, incluye las dislocaciones, formación de cavidades y grietas.
- Desgaste abrasivo: es el daño por la acción de partículas sólidas presentes en la zona del rozamiento.

3.4.1.3. Lubricación

Es una ciencia basada en el estudio de la preservación de elementos y equipos que se encuentren en contacto entre sí y generan fricción. Dado que, como se vio anteriormente, este fenómeno causa desgaste en los elementos. La lubricación busca el reducir este fenómeno mediante la aplicación de fluidos

lubricantes, los cuales tiene como función reducir tanto la fricción como los fenómenos relacionados con esta.

Además existen diferentes tipos de lubricantes, los cuales son utilizados para aplicar en diversas situaciones, dependiendo de los requerimientos de los equipos.

Los tipos de lubricación que cada sistema necesita se basan en la relación de los componentes en movimiento. Hay tres tipos básicos de lubricación: límite, hidrodinámica, y mezclada. Para saber qué tipo de lubricación ocurre en cada caso se necesita saber la presión entre los componentes a ser lubricados, la velocidad relativa entre los componentes, la viscosidad del lubricante y otros factores. Desde hace relativamente poco tiempo se ha empezado a hablar de un cuarto tipo de lubricación: elastohidrodinámica.

- Lubricación límite: ocurre a baja velocidad relativa entre los componentes y cuando no hay una capa completa de lubricante cubriendo las piezas. Durante la lubricación límite hay contacto físico entre las superficies y desgaste. La cantidad de desgaste y fricción entre las superficies depende de un número de variables: la calidad de las superficies en contacto, la distancia entre las superficies, la viscosidad del lubricante, la cantidad de lubricante presente, la presión, el esfuerzo impartido a las superficies y la velocidad de movimiento. Ejemplo de esta lubricación se nota en los motores de combustión, al momento de prender el motor; esto sucede por la baja lubricación límite, ya que el aceite se ha "caído" de las piezas al fondo del cárter, produciendo contacto de metal a metal.

- Lubricación hidrodinámica: en algún momento de velocidad crítica la lubricación limítrofe desaparece y da lugar a la lubricación hidrodinámica. Esto sucede cuando las superficies están completamente cubiertas con una película de lubricante. Esta condición existe una vez que una película de lubricante se mantiene entre los componentes y la presión del lubricante crea una "ola" delante de la película que impide el contacto entre superficies. Bajo condiciones hidrodinámicas, no hay contacto físico entre los componentes y no hay desgaste. Si los motores pudieran funcionar bajo condiciones hidrodinámicas todo el tiempo, no habría necesidad de utilizar ingredientes antidesgaste y de alta presión en las fórmulas de lubricantes, y el desgaste sería mínimo.

La propiedad que más afecta la lubricación hidrodinámica es la viscosidad. La viscosidad debe ser lo suficientemente alta para brindar lubricación (limítrofe) durante el arranque del motor con el mínimo de desgaste, pero la viscosidad también debe ser lo suficientemente baja para reducir al mínimo la "fricción viscosa" del aceite a medida que es bombeada entre los metales (cojinetes) y las bancadas, una vez que llega a convertirse en lubricación hidrodinámica. Una de las reglas básicas de lubricación es que la menor cantidad de fricción innecesaria va a ocurrir con el lubricante de menor viscosidad posible para cada función específica. Esto es que cuanto más baja la viscosidad, menos energía se desperdicia bombeando el lubricante.

- Lubricación mixta: es una mezcla inestable de lubricación limítrofe e hidrodinámica. Por ejemplo, cuando se enciende el motor (o cuando arranca un componente, si es otro equipo), la velocidad de los componentes aumenta velozmente y por una pequeña fracción de segundo se produce lubricación mezclada. En otras situaciones, cuando

el esfuerzo y la velocidad de los componentes varían ampliamente durante el uso (durante manejo en montaña o en tráfico, por ejemplo) la temperatura puede hacer que el lubricante se "queme" más rápido y que así la lubricación hidrodinámica sea difícil de adquirir, dejando de esa manera trabajando el motor en una condición de lubricación mezclada, que producirá más desgaste.

- Lubricación elastohidrodinámica: la lubricación EHL se presenta en mecanismos en los cuales las rugosidades de las superficies en movimiento relativo trabajan siempre entrelazadas y las crestas, permanentemente, se están deformando elásticamente. Bajo estas condiciones de operación, el control del desgaste adhesivo y el consumo de energía por fricción dependen de la película límite adherida a las rugosidades y de las capas de aceite de la película hidrodinámica que se forman cuando el lubricante es sometido a elevadas presiones, en el momento de la deformación elástica de las crestas.

Las películas delgadas no son lo suficientemente gruesas como para mantener una separación total entre las superficies en todo momento.

Cuando no es práctico o posible el suministro de suficiente cantidad de lubricante, las superficies se mueven bajo condiciones de película lubricante muy finas. Sin embargo, aun en estos casos existe suficiente aceite, de forma que parte de la carga alcanza a ser soportada por la película lubricante y parte por el contacto metal-metal entre las superficies.

3.4.2. Rodamientos y ejes

Estos elementos, como ya se vio anteriormente, son bastante utilizados en los equipos de impresión debido a que la mecánica de los mismos radica en la aplicación de la energía rotacional e inercia de estos elementos para hacer funcionar el equipo. Debido a ello, estos elementos requieren de un especial cuidado en cuanto a mantenimiento para la conservación del equipo.

3.4.2.1. Rodamientos

Los rodamientos son elementos normalizados en dimensiones y tolerancias. Esta normalización facilita la intercambiabilidad, pudiendo disponer de repuestos de diferentes fabricantes, asegurando un correcto montaje sin necesidad de un ajuste posterior de los mismos.

Los rodamientos son elementos normalizados en dimensiones y tolerancias. Esta normalización facilita la intercambiabilidad, pudiendo disponer de repuestos de diferentes fabricantes, asegurando un correcto montaje sin necesidad de un ajuste posterior de los mismos.

Entre los dos aros se disponen los elementos rodantes (bolas, rodillos cilíndricos, rodillos, cónicos, rodillos esféricos, entre otros), los cuales ruedan sobre las pistas de rodadura practicadas en los aros, permitiendo la movilidad de la parte giratoria respecto de la fija.

Para conseguir que guarden la debida distancia entre sí, los elementos rodantes van alojados en una pieza de chapa estampada, denominada jaula portabolas o portarrodillos. Los rodamientos se construyen en acero de adecuadas características de dureza y tenacidad, permitiendo soportar, con

muy poco desgaste, millones de revoluciones; son sometidos a cargas y esfuerzos, a veces, concentrados y localizados. La lubricación varía con la velocidad y el tamaño de los rodamientos, efectuándose con aceite o grasa consistente.

La clasificación de los rodamientos depende de la aplicación de los mismos, puesto que todos ellos poseen características que los hacen más aptos para diversos usos, debido a su diseño.

Desde el punto de vista cinemático, pueden clasificarse en tres categorías:

- Rodamientos de cargas radiales; pueden soportar preferentemente cargas dirigidas en la dirección perpendicular al eje de rotación.
- Rodamientos para cargas axiales: pueden soportar cargas que actúen únicamente en la dirección del eje de rotación. A su vez suelen ser rodamientos de simple efecto que pueden recibir cargas axiales en un sentido, y rodamientos de doble efecto que pueden recibir cargas axiales en ambos sentidos.
- Rodamientos para cargas mixtas: pueden soportar esfuerzos radiales, axiales o ambos, combinados.

Según el tipo de elementos rodantes utilizados, los rodamientos pueden ser:

- Rodamientos de bolas: son adecuados para altas velocidades, alta precisión, bajo par torsional y baja vibración.

- Rodamientos de rodillos: los rodillos pueden ser de diferentes formas: cilíndricos, cónicos, forma de tonel (la generatriz es un arco de circunferencia) y de agujas (cilindros de gran longitud y pequeño diámetro). Se caracterizan por tener una gran capacidad de carga, asegurando una vida y resistencia a la fatiga prolongadas.

Otros aspectos relativos a la clasificación de los rodamientos pueden ser: número de hileras, de elementos rodantes (una o varias), desmontable o no desmontable (según que los anillos puedan ser desmontados o no) y disponibilidad de orificio de engrase. Este último es un aspecto importante cuando se trata de rodamientos que se deben lubricar constantemente, puesto que no son sellados. Aparte de ello, para el mantenimiento de los mismos, si se han colocado como chumaceras, es necesario engrasarlos de forma frecuente y permanente, para garantizar que existirá el menor desgaste entre los mismos.

3.4.2.2. Cadenas

Las cadenas son elementos mecánicos diseñados para la transmisión de potencia y fuerza desde un eje denominado conductor, hacia otro denominado conducido. Dentro de cualquier equipo que busca transmitir energía mediante movimiento, es imprescindible el uso de las cadenas.

Figura 23. **Eslabón, componentes de una cadena**

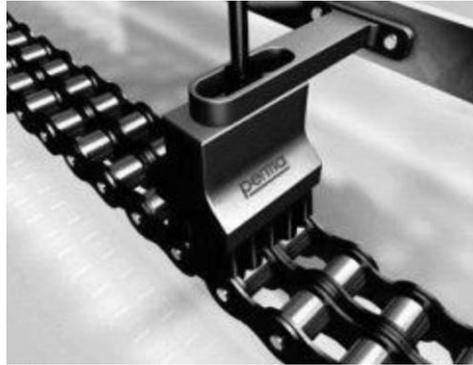


Fuente: Google. <http://www.rim.com.mx/prodsrim/2014/semana22/>. Consulta: 10 de noviembre de 2015.

El cuidado y mantenimiento de estos elementos es vital para poder brindarles mayor tiempo de vida, así como también para mantener el equipo en óptimas condiciones para su operación.

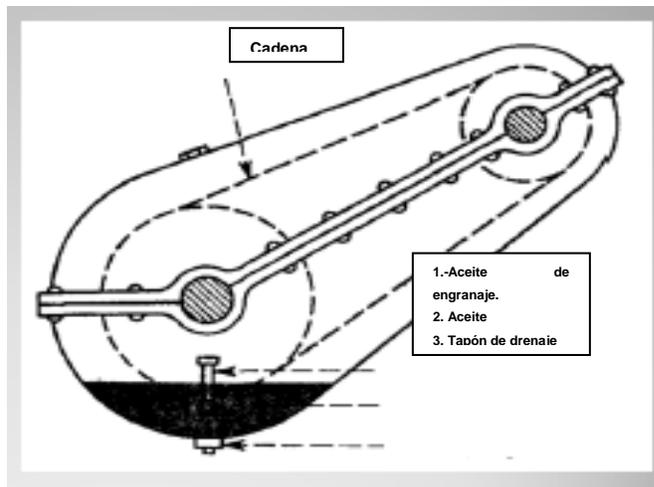
El mantenimiento de estos elementos está basado principalmente en la lubricación para evitar el desgaste entre la cadena y el *sprocket* o los tensores. Asimismo, a estos elementos se les debe realizar ajustes para garantizar una buena alineación, así como la tensión y balanceo de los mismos, para que no se den averías producidas por vibración. Existen diversos métodos para la aplicación de la lubricación en cadenas, los cuales se ilustran a continuación:

Figura 24. **Lubricación de cadena por brocha**



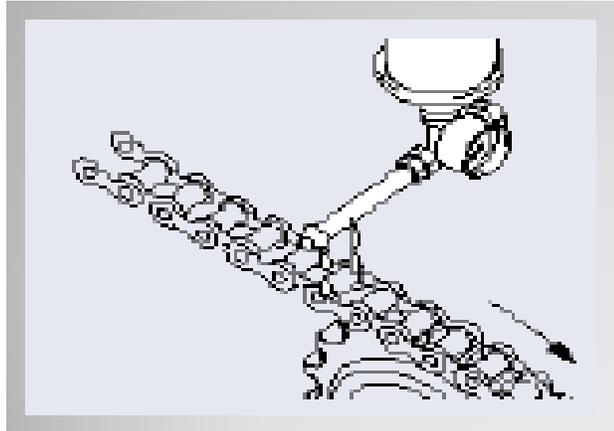
Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira. *Transmisión por cadenas, diseño 2*. p. 14.

Figura 25. **Lubricación por baño en aceite**



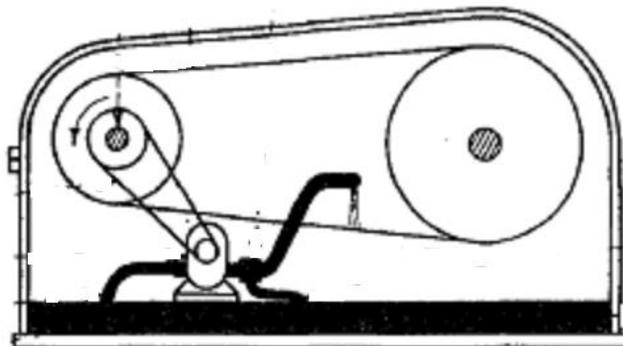
Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira. *Transmisión por cadenas, diseño 2*. p. 15.

Figura 26. **Lubricación por goteo**



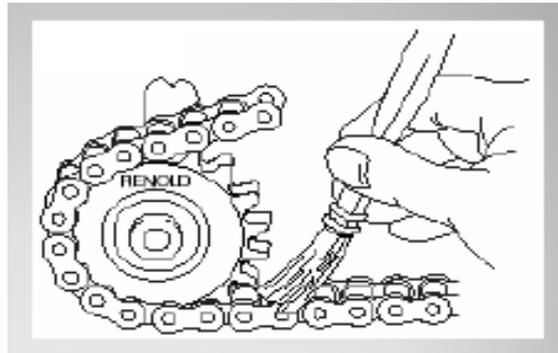
Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira. *Transmisión por cadenas, diseño 2*. p. 15.

Figura 27. **Lubricación por chorro**



Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira. *Transmisión por cadenas, diseño 2*. p. 16.

Figura 28. **Lubricación manual usando brocha**



Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira. *Transmisión por cadenas, diseño 2*. p. 16.

3.4.2.3. Engranajes

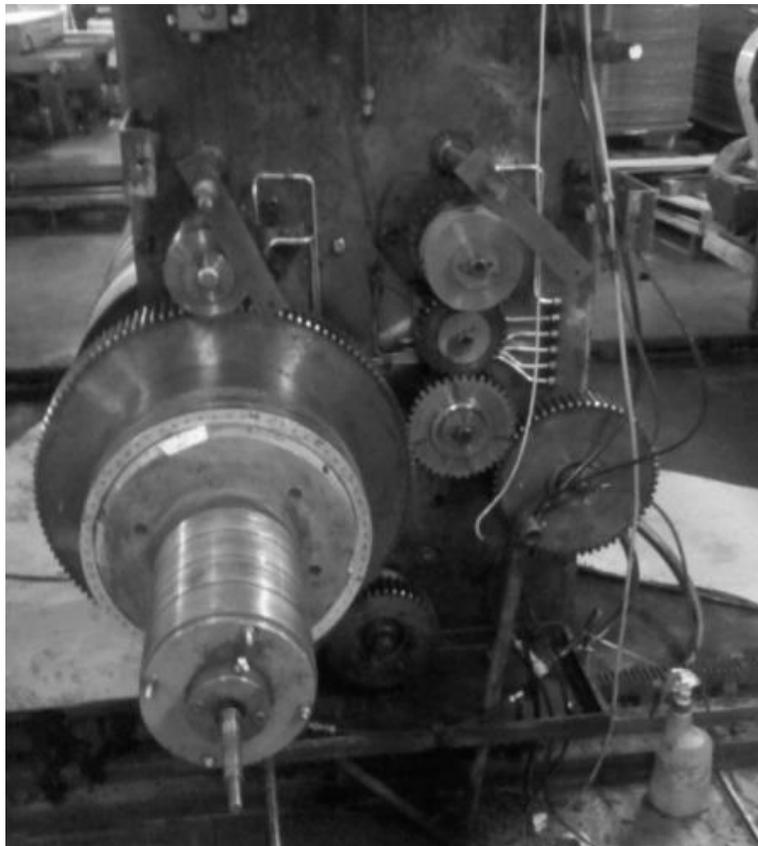
De igual manera que las cadenas, los engranajes son elementos mecánicos indispensables cuando se está hablando de la transmisión de potencia y fuerza. Debido a su naturaleza estos poseen características de diseño que los hace mejores para realizar esta clase de labores, ya que por sus materiales, pueden soportar de mejor manera las cargas y velocidades al momento de transmitir energía.

El cuidado de estos elementos es muy similar al cuidado de las cadenas; en el caso del mantenimiento también se realiza por lubricación para controlar y evitar el desgaste entre engranes; así también las revisiones periódicas, para verificar una correcta alineación y balanceo de los mismos.

- Mantenimiento por lubricación: este mantenimiento en engranes se da a través de la aplicación de aceites lubricantes, los cuales pueden mantener una lubricación constante mediante el bombeo; también puede darse por medio de la utilización de grasas, las cuales también se deben

aplicar de forma periódica, mediante el uso de bombas manuales o automáticas. Ambos tipos de lubricación requieren que los lubricantes posean aditivos especiales para poder soportar las condiciones de desgaste, presión y temperatura, a las que se someten estos elementos.

Figura 29. **Aplicación de los engranes en el módulo de tinta**



Fuente: instalaciones de la empresa.

Figura 30. **Aplicación de engranes en caja reductora**



Fuente: instalaciones de la empresa.

Existen diferentes tipos de engranes para diversas aplicaciones entre los cuales se pueden mencionar:

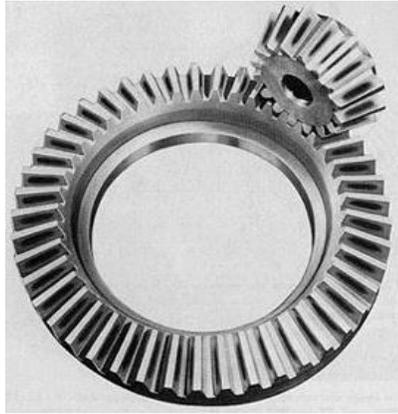
- Engranés cilíndricos rectos: son aquellos en donde la sección de corte se mantiene constante a lo largo de su sentido axial. Constituyen el tipo de engranajes más sencillos de fábrica. Se utilizan en situaciones en donde es necesaria la transmisión de potencia en ejes paralelos y constituyen el engranaje original con mayor tradición.
 - Aplicación: se utilizan mayoritariamente en situaciones en donde no es posible compensar las fuerzas axiales producidas por los

engranajes cilíndricos helicoidales. Actualmente, se utilizan poco debido al excesivo ruido generado por los mismos. Ejemplo: máquinas sencillas de trituración de caña de azúcar, prensas mecánicas.

- Engranajes cilíndricos helicoidales: son aquellos en donde se ha creado un ángulo entre el recorrido de los dientes respecto del eje axial, con el fin de asegurar una entrada más progresiva del contacto entre diente y diente, reduciendo el ruido de funcionamiento y aumentando la resistencia de los dientes del engranaje.
 - Aplicación: constituyen los engranajes mayormente utilizados en la actualidad en aplicaciones donde es necesaria la transmisión entre ejes paralelos a altas velocidades. Ejemplo de ello son las cajas reductoras de automóviles.

- Engranajes cónicos rectos: son utilizados para efectuar una reducción de velocidad con ejes a 90° (perpendiculares). Son utilizados en menor proporción que los engranajes cónicos helicoidales debido a que generan mayor ruido que los mismos.
 - Aplicaciones: actualmente se utilizan no solo en diseños nuevos, sino en reconstrucciones de transmisiones de ejes perpendiculares en donde existían antes engranajes cónicos rectos.

Figura 31. **Aplicación de engranes cónicos, piñón y corona**



Fuente: Google. <http://img.webme.com/pic/f/ferrotecnicos/conico5.jpg>. Consulta: 23 de mayo de 2015.

Estos diferentes elementos mecánicos son muy usados en la transmisión de potencia dentro del equipo de impresión. Actualmente el método de mantenimiento radica en la lubricación periódica de los elementos mediante el uso de grasas y aceites lubricantes. Para tal actividad se hace uso de la lubricación por brocha en el caso de las grasas, y la lubricación por irrigación en el caso de los engranes lubricados con aceite.

3.5. Sistemas neumáticos

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.

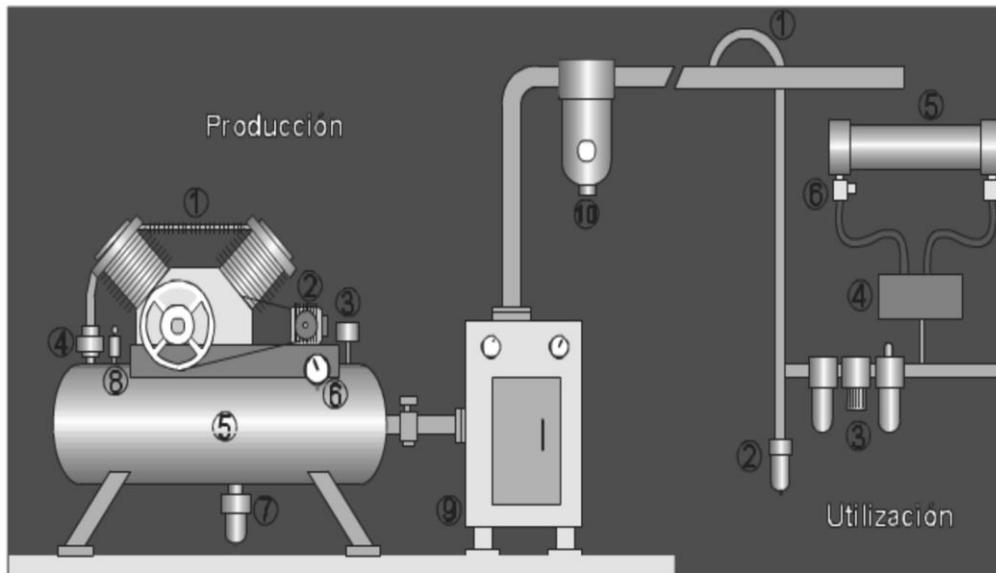
El aire es un material elástico y por tanto, al aplicarle una fuerza, se comprime, mantiene esta compresión y devolverá la energía acumulada cuando se le permita expandirse, según la ley de los gases ideales.

El aire comprime impurezas tales como polvo, hollín, suciedad, hidrocarburos, gérmenes y vapor de agua. A estas impurezas se suman las partículas que provienen del propio compresor, tales como polvo de abrasión por desgaste, aceites y aerosoles y los residuos y depósitos de la red de tuberías, tales como óxido, residuos de soldadura, y las sustancias hermetizantes que pueden producirse durante el montaje de las tuberías y accesorios.

Estas impurezas pueden crear partículas más grandes (polvo + aceite) por lo que dan origen muchas veces a averías y pueden conducir a la destrucción de los elementos neumáticos. Es vital eliminarlas en los procesos de producción de aire comprimido, de preparación para la alimentación directa de los dispositivos neumáticos y en los compresores.

Por otro lado, desde el punto de vista de prevención de los riesgos laborales, el aire de escape que contiene aceite puede dañar la salud de los operarios; además, es perjudicial para el medio ambiente.

Figura 32. **Esquema de un sistema neumático básico**



Producción

- | | | | |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| 1. Compresor | 2. Motor eléctrico | 3. Presostato | 4. Válvula anti-retorno |
| 5. Depósito | 6. Manómetro | 7. Purga automática | 8. Válvula de seguridad |
| 9. Secador de aire refrigerado | 10. Filtro de línea | | |

Utilización

- | | | |
|------------------------|---------------------|---|
| 1. Purga del aire | 2. Purga automática | 3. Unidad de acondicionamiento del aire |
| 4. Válvula direccional | 5. Actuador | 6. Controladores de velocidad |

Fuente: Google. <http://automatismoindustrial.files.wordpress.com/2013/02/imagen12.png>.

Consulta: 23 de mayo de 2015.

3.5.1. Elementos neumáticos

En todo sistema neumático se pueden distinguir los siguientes elementos:

- Elementos generadores de energía: tanto si se trabaja con aire como con un líquido, se ha de conseguir que el fluido transmita la energía necesaria para el sistema. En los sistemas neumáticos se utiliza un compresor, mientras que en el caso de la hidráulica se recurre a una

bomba. Tanto el compresor como la bomba han de ser accionados por medio de un motor eléctrico o de combustión interna.

- Elemento de tratamiento de los fluidos: en el caso de los sistemas neumáticos, debido a la humedad existente en la atmósfera, es preciso proceder al secado del aire antes de su utilización; también será necesario filtrarlo y regular su presión, para que no se introduzcan impurezas en el sistema ni se produzcan sobrepresiones que pudieran perjudicar su funcionamiento.
- Elementos de mando y control tanto en sistemas neumáticos como en hidráulicos: estos se encargan de conducir de forma adecuada la energía comunicada al fluido en el compresor o en la bomba hacia los elementos actuadores.
- Elementos actuadores, son los elementos que permiten transformar la energía del fluido en movimiento, en trabajo útil. Son los elementos de trabajo del sistema y se pueden dividir en dos grandes grupos: cilindros, en los que se producen movimientos lineales, y motores, en los que tienen lugar movimientos rotativos.

3.5.1.1. Mantenimiento del sistema neumático

La contaminación es el enemigo número uno de los sistemas neumáticos. Cuando los contaminantes entran en el sistema:

- Reducen su eficiencia: las pérdidas de eficiencia son difíciles de detectar, pudiendo afectar significativamente la productividad antes de que el palista se dé cuenta.

- Aceleran el desgaste de los componentes: la mayor parte de las averías de las bombas, motores, válvulas y cilindros son debidas a la contaminación.

Los efectos de la contaminación son, frecuentemente, difíciles de detectar porque las pérdidas de eficiencia se van produciendo lentamente a lo largo del tiempo. Por ejemplo, si la pérdida llega a ser del 20 % antes de que se note la diferencia, aunque la máquina haya trabajado cinco días, su productividad habrá sido de solo cuatro. Esta pérdida "invisible" puede llegar a tener un impacto enorme en sus costes de operación.

Los contaminantes son cualquier elemento extraño al sistema neumático. Entre ellos se incluyen partículas, calor, aire y agua. Todos estos contaminantes pueden empezar a reducir la vida de los componentes neumáticos mucho tiempo antes de que se produzca realmente una avería. Normalmente los contaminantes se dividen en dos categorías: partículas contaminantes y contaminantes químicos.

Para prevenir la contaminación en el lugar de trabajo deben seguirse los siguientes pasos:

- Realizar las inspecciones diarias: inspeccionar la máquina todos los días para comprobar que no tiene fugas o pérdidas. Si las hubiera, repararlas inmediatamente.
- Mantener en buen estado el depósito neumático: revisar periódicamente el recipiente almacenador para evitar fallas que pueden conducir a su avería y a la contaminación de todo el sistema.

- Mantener las válvulas: mantener correctamente el enfriador de aire; las válvulas de seguridad solo pueden ser cambiadas por un técnico especialista. Es importante encontrar el origen real de cualquier pérdida de presión y repararla.
- Utilizar protectores: en aplicaciones de polvo fino, roca amontonada o material corrosivo utilizar protectores para proteger los componentes al descubierto (carcasas, manguitos, entre otros).

En relación con el control de la contaminación durante el mantenimiento general, debe tomarse en cuenta que siempre que el sistema neumático esté abierto, en el momento de cambiar un filtro o reparar un componente, los contaminantes pueden entrar en él. Para evitar la contaminación y ahorrar tiempo y dinero siempre se debe:

- Abrir el sistema y desmontar los componentes con gran cuidado.
- Mantener las mangueras tapadas y enchufadas.
- Conservar los repuestos en su envase original hasta el momento de su instalación.

3.6. Sistema eléctrico

Debido a que la impresora flexográfica cuenta con un sistema eléctrico bastante complejo, el cual se encarga de la distribución de la corriente eléctrica al sistema, así como de la activación de los elementos que la componen (como los motores eléctricos, electroválvulas, sensores, entre otros), estos mismos son los encargados de la generación de potencia mecánica para el movimiento del sistema. Asimismo distribuye energía para la activación y control de los sistemas neumáticos y paneles y alimenta los sistemas electrónicos.

Entre los elementos que posee el sistema eléctrico de la impresora están los siguientes:

3.6.1. Motores eléctricos

- Motor asíncrono de inducción: como todas las máquinas eléctricas, un motor eléctrico está constituido por un circuito magnético y dos eléctricos, uno colocado en la parte fija (estator) y otro en la parte móvil (rotor).

Figura 33. **Motor eléctrico**

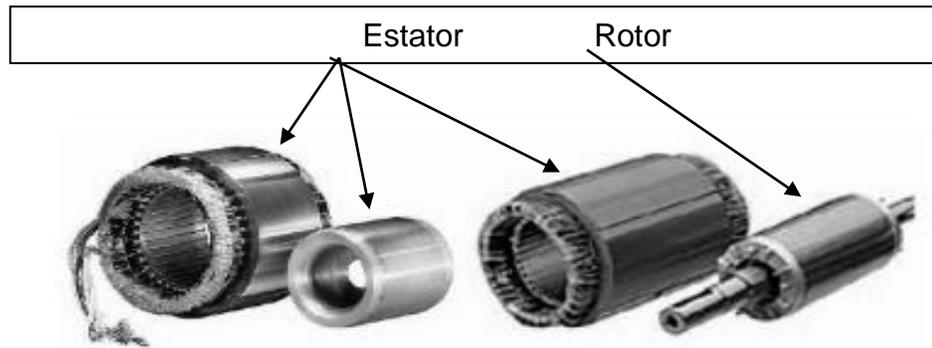


Fuente: Google. <http://vertigo2040.files.wordpress.com/2011/07/motor.jpg>.

Consulta: junio de 2015.

El circuito magnético está formado por chapas apiladas en forma de cilindro en el rotor y en forma de anillo en el estator.

Figura 34. **Rotor y estator de un motor eléctrico**



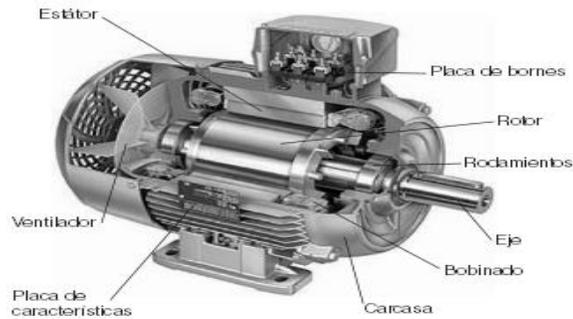
Fuente: *Motores*. <http://motoresmonofasicos1.blogspot.com/2010/10/partes-fundamentales-del-motor.html>. Consulta: junio de 2015.

El cilindro se introduce en el interior del anillo y para que pueda girar libremente hay que dotarlo de un entrehierro constante. El anillo se dota de ranuras en su parte interior para colocar el bobinado inductor y se envuelve exteriormente por una pieza metálica con soporte llamada carcasa.

El cilindro se adosa al eje del motor y puede estar ranurado en su superficie para colocar el bobinado inducido (motores de rotor bobinado) o bien se le incorporan conductores de gran sección soldados a anillos del mismo material en los extremos del cilindro (motores de rotor en cortocircuito) similar a una jaula de ardilla, de ahí que reciban el nombre de rotor de jaula de ardilla.

El eje se apoya en unos rodamientos de acero para evitar rozamientos y se saca al exterior para transmitir el movimiento, y lleva acoplado un ventilador para refrigeración. Los extremos de los bobinados se sacan al exterior y se conectan a la placa de bornes.

Figura 35. **Componentes del motor eléctrico**



Fuente: Google. http://i01.i.aliimg.com/img/pb/745/328/445/445328745_625.jpg.

Consulta: junio de 2015.

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estático sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado estático corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas. La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (Ley de Lenz).

La velocidad de rotación del rotor en los motores asíncronos de inducción es siempre inferior a la velocidad de sincronismo (velocidad del flujo giratorio). Para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor ha de existir un movimiento relativo entre los conductores y el flujo giratorio. A la diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y del rotor se le llama deslizamiento.

La velocidad de estos motores, según el principio de funcionamiento y la frecuencia industrial, tiene que ser fija, algo menor que la del sincronismo. Gracias a los avances en la electrónica de potencia, actualmente se fabrican arrancadores estáticos que pueden regular la velocidad de estos motores, actuando sobre la frecuencia de la alimentación del motor, es decir, convierten la frecuencia industrial de la red en una distinta que se aplica al motor. De ahí que reciban el nombre de convertidores de frecuencia, pudiendo regular la velocidad, amortiguar el arranque e incluso frenarlo.

3.6.1.1. Eficiencia en motores eléctricos

La eficiencia de un motor eléctrico es la medida (porcentaje) de su habilidad para convertir la potencia eléctrica que toma de la red en potencia mecánica útil.

$$P = (\text{potencia mecánica}/\text{potencia eléctrica}) \times 100$$

3.6.1.2. Pérdidas en motores eléctricos

- Pérdidas magnéticas: debido a la histéresis y a las corrientes parásitas en el material del núcleo. Estas pérdidas están en función de las propiedades magnéticas y espesor en la lámina de acero y son independientes de la carga.
- Pérdidas eléctricas: pérdidas I^2R en el estator: estas están en función de la resistencia óhmica del bobinado y de la corriente que demanda el motor en la línea.

- Pérdidas I^2R en el rotor: están en función de la resistencia óhmica del rotor y de la corriente inducida. Varían directamente con el deslizamiento.
- Pérdidas mecánicas: pérdidas por fricción en los rodamientos y por la circulación de aire de enfriamiento. Estas son independientes de la carga.
- Pérdidas indeterminadas: son pérdidas remanentes producidas por las corrientes parásitas en el acero magnético y embobinado. Factores que contribuyen a este tipo de pérdidas: cantidad y geometría de las ranuras, entrehierro, entre otros.

3.7. Sistemas electrónicos

Los sistemas electrónicos son los encargados en cualquier equipo de realizar el control de los mismos de una forma semiautomática. Este tipo de control es debido a una programación previa, el cual requiere en algunos casos la activación de dichas programaciones.

Los sistemas electrónicos en la impresora flexográfica se encargan de realizar los ajustes necesarios en todo el equipo: esto ocurre cuando el operario realiza modificaciones en la operación del mismo. Estas modificaciones pueden ser: en las dimensiones de las láminas de cartón a imprimir, velocidad de impresión o área de impresión. El sistema electrónico de la impresora es controlado por una tarjeta madre, la cual ha sido programada previamente. Realiza todo su trabajo, mediante el auxilio de un sistema PLC (*programmable logic controller*), el cual se encarga de guiar el equipo durante toda su etapa de operación. Esto quiere decir que esta programación se encarga de la ejecución de funciones predeterminadas en la impresora.

Este tipo de funciones son auxiliadas y activadas por medio de receptores de señal tales como el uso de sensores, los cuales recopilan información que a su vez es procesada y enviada por medio de un pulso eléctrico a un receptor controlador ubicado en el PLC, el cual envía un nueva señal eléctrica que ordena e indica al equipo qué acción debe ejecutar.

Este tipo de control se puede observar en la entrada al puente de la impresora, puesto que ahí se encuentra ubicada el área de goma de la misma. En esta etapa, al momento de que las láminas de cartón son expulsadas por la impresora previamente troqueladas y con el diseño impreso, sensores ubicados en la salida de la impresora y entrada al puente, le envían información al dispositivo electroneumático de aplicación de goma, el cual se activa para dispensar la goma en la cantidad y medida que requieran las láminas de cartón. Este sistema se ve afectado por las variables que posee el papel tal como: el tipo, tamaño y velocidad del equipo.

3.7.1. Elementos del sistema electrónico

El sistema electrónico de la impresora flexográfica está compuesto por diversos componentes, los cuales se encargan de dirigir y ordenar de forma autónoma y previamente programada, los procesos que ejecuta la impresora mediante su operación.

Entre estos componentes se encuentran las tarjetas de memoria. Estos elementos son los portadores de la información, son quienes dirigen el funcionamiento del equipo mediante el auxilio y activación de componentes electroneumáticos y eléctricos.

Estas tarjetas son muy sensibles al ambiente, puesto que sus funciones se pueden ver afectadas por la temperatura del ambiente, humedad o la suciedad.

Un sistema electrónico se puede dividir en tres partes o bloques principales:

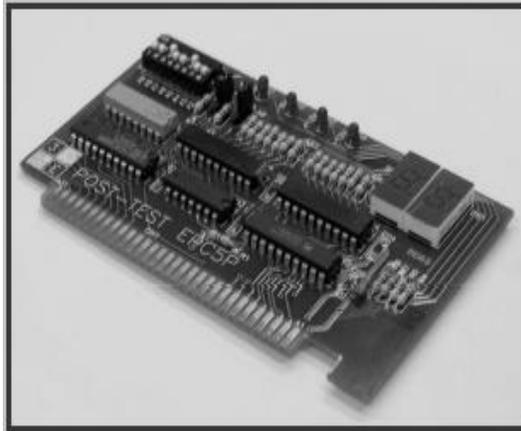
- Bloque de entrada: a través de este el sistema recibe la información que va a procesar o las variables que determinan su funcionamiento.
- Bloque de procesos: en él se realizan las operaciones necesarias para gobernar los actuadores.
- Bloque de salida: se encarga de realizar la acción final correspondiente al objetivo deseado.

Figura 36. **Aplicación de los circuitos electrónicos, controlador LOGOS**



Fuente: Google. http://www.cursosdeplc.com.mx/wp-content/uploads/2013/01/PLC_Siemens.jpg. Consulta: junio de 2015.

Figura 37. **Tarjetas de memoria usadas en sistemas PLC**



Fuente: *Android.net*. <http://www.noticiasandroid.net/img/2011/04/10585-01.jpg>.

Consulta: junio de 2015.

Estos sistemas pueden ser de tipo abierto o de mando, en los cuales el sistema recibe las señales de entrada, provenientes del operador del equipo y este a su vez analiza e interpreta dichas señales, con lo cual realiza correcciones en cuanto a la operación del equipo y control del proceso de una forma mecánica; esto es conocido como laso de control abierto.

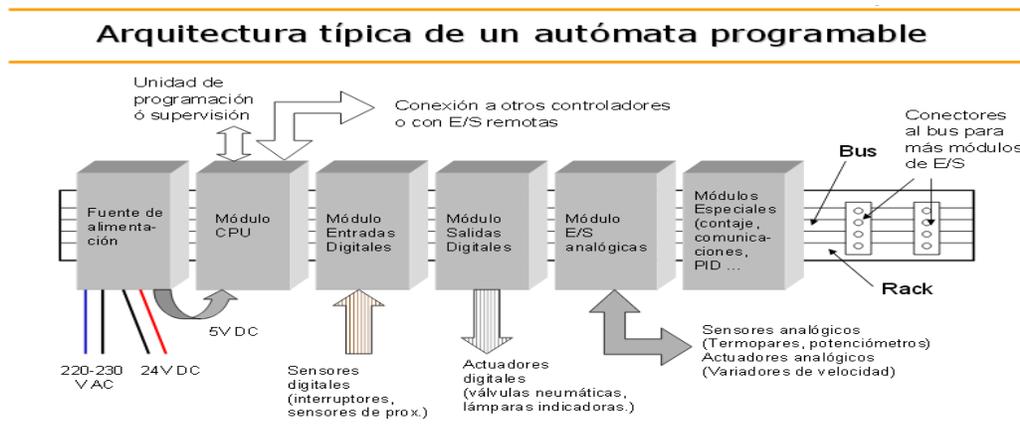
Por otro lado se puede poseer un sistema que logre capturar la información de los sucesos que ocurren a la salida del proceso por medio del uso de sensores; esta información recopilada por los sensores es reenviada a los controladores del equipo tal como tarjetas de memoria o PLC; con ello el mismo equipo puede tomar decisiones de modificar algún parámetro para lograr que el proceso se cumpla de la forma en que es requerido; este tipo de mando se conoce como laso de control cerrado.

3.7.2. PLC o autómata programable (AP)

Un autómata programable (AP) es una máquina electrónica programable diseñada para ser utilizada en un entorno industrial hostil, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario para implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencias, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas, diversos tipos de máquinas o procesos.

Los AP surgen hacia 1969 como respuesta al deseo de la industria del automóvil de contar con cadenas de producción automatizadas que pudieran seguir la evolución de las técnicas de producción y permitieran reducir el tiempo de entrar en producción de nuevos modelos de vehículos.

Figura 38. Esquema de funcionamiento de un sistema PLC



Fuente: MATEOS, Felipe. *Ingeniería de sistemas y automática*. p. 16.

4. CALIDAD Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO DE LA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA

4.1. Sistema de gestión ISO 9001:2008

Hoy en día, la globalización de los mercados, las nuevas tecnologías y las exigencias de los clientes, están propiciando una competencia cada vez más dura entre las organizaciones. El secreto para sobrevivir no es otro que entregar productos que satisfagan las necesidades y expectativas de los clientes a precios competitivos, y para ello, es fundamental garantizar que se trabaje siempre bien.

Un sistema de gestión de la calidad es la forma en la que una empresa o institución dirige y controla todas las actividades que están asociadas a la calidad. El diseño y la implementación del sistema de gestión de la calidad de una organización están influenciados por ISO 9001:2008, 9, su entorno de negocio, cambios o riesgos asociados con ese entorno, necesidades cambiantes, objetivos particulares, los productos que proporciona, los procesos que emplea y tamaño y estructura de la organización. Las partes que componen el sistema de gestión son:

- Estructura organizativa: departamento de calidad o responsable de la dirección de la empresa.
- Cómo se planifica la calidad.
- Los procesos de la organización.
- Recursos que la organización aplica a la calidad.
- Documentación que se utiliza.

El hecho de que una empresa tenga implantado un sistema de gestión de la calidad, solo quiere decir que esa empresa gestiona la calidad de sus productos y servicios de una forma ordenada, planificada y controlada; es decir, sus productos pueden ser de mejor o peor calidad que los de la competencia, la cual puede tener a su vez un sistema de gestión de la calidad o no.

La idea clave es que la calidad es importante en todos los pasos del proceso. Para cumplir con tal objetivo la Organización Internacional de Estandarización (ISO) realizó un manual en el cual se detallan los parámetros con los que debe cumplir una empresa al momento de implementar un sistema de gestión de la calidad; esta información se puede observar en el anexo 1 (Norma ISO 9001:2008).

Debido al auxilio de la norma ISO 9001:2008 es posible la gestión de la calidad en cuanto a la aplicación del mantenimiento aplicado a la impresora flexográfica, con lo cual se logra la ejecución de mejores prácticas de mantenimiento que garanticen el cumplimiento del mismo, así como el buen y duradero servicio del equipo.

En la empresa actualmente existe un sistema de gestión de calidad que se encarga de velar por el cumplimiento de procedimientos y métodos, los cuales están orientados a garantizar el buen cumplimiento y ejecución de las instrucciones asignadas a cada parte del proceso de producción, buscando con ello aumentar el nivel de calidad de los productos y garantizar la satisfacción del cliente. Sin embargo, el Departamento de Mantenimiento de la empresa aún no cuenta con este tipo de metodología. Con lo que se busca realizar dicha gestión, para garantizar que al igual que el departamento de producción, cuente con métodos e instrucciones definidos para garantizar la calidad de las labores que realizan.

En el Departamento de Mantenimiento se aplican metodologías estandarizadas para brindar un buen servicio a los equipos, garantizando la disponibilidad de los mismos y reduciendo las averías. Esta gestión es posible lograrla si el departamento se coordina para la ejecución y seguimiento de dicho proceso, manteniendo buenas prácticas en la ejecución de las labores de prevención y reparación.

Estas prácticas pueden ser mejoradas a como son hoy en día; esto si el personal de mantenimiento logra dar un enfoque diferente a la metodología que se ha venido trabajando. Esto se hace notar puesto que indagando en el departamento de mantenimiento, desde su creación ha sido el encargado de “reparar y cuidar el buen funcionamiento de los equipos”.

Si bien esta noción no está alejada de la razón de ser del departamento de mantenimiento de cualquier empresa, es necesario conocer diferentes metodologías que no solo busquen reparar y cuidar la operación de los equipos, sino más bien garanticen una metodología orientada a generar un buen mantenimiento preventivo y predictivo, el cual busque reducir la cantidad de averías en los equipos y mayormente una disponibilidad de los mismos, generando de igual manera una reducción en el volumen de mantenimientos correctivos, lo que garantiza que los equipos estarán por más tiempo en operación continua, lo que trae como resultado una mejor organización de la producción, evitando atrasos y pérdidas económicas para la empresa.

Hoy en día el mantenimiento ha evolucionado desde sus inicios, con la aparición de las primeras máquinas que pudieron haber existido hace varios siglos. Sin embargo, el tipo de mantenimiento actualmente posee criterios distintos, los cuales ayudan en su ejecución, dependiendo de cuál de los diversos tipos de mantenimiento se esté aplicando.

Debido a esto el Departamento de Mantenimiento de la planta de producción de la empresa cartonera está implementando un modelo de mantenimiento preventivo que auxilie al actual mantenimiento correctivo.

Para lograr tal objetivo es necesario contar con un personal bien orientado y capacitado en cuanto a la aplicación y seguimiento de este tipo de mantenimiento, puesto que se debe seguir una metodología estructurada y orientada para alcanzar tal propósito. Buscando la implementación de un sistema de mantenimiento que posea una mejor calidad en cuanto a su aplicación, el Departamento de Mantenimiento contempla apoyarse en un sistema de gestión de calidad, el cual le brindará los parámetros para que pueda realizarse un manual de mantenimiento preventivo predictivo.

El sistema de gestión dará las reglas para estructurar los diversos procedimientos, instructivos y registros de los diversos métodos de mantenimiento preventivo y predictivo.

En la actualidad, con el auxilio de diversos instrumentos y métodos de trabajo, es posible diagnosticar el buen o mal funcionamiento de los sistemas y equipos en una planta de producción. Esta metodología puede ser variable, dependiendo del tipo de estudio y el análisis que se aplicará a los diversos equipos.

4.2. Norma 10013:2001. Directrices para la documentación de sistemas de gestión de la calidad

Este segmento proporciona directrices para el desarrollo y mantenimiento de la documentación necesaria para asegurar un sistema de gestión de la calidad eficaz, adaptado a las necesidades específicas de la organización.

El uso de estas directrices ayudará a establecer un sistema documentado como el requerido por la norma de sistema de gestión de la calidad que sea aplicable.

Este informe técnico puede ser utilizado para documentar otros sistemas de gestión diferentes al de la familia ISO 9000.

La forma de organizar la documentación del sistema de gestión de la calidad normalmente sigue a los procesos de la organización, a la estructura de la norma de calidad aplicable, o a una combinación de ambas. Puede utilizarse cualquier otra forma de organización que satisfaga las necesidades de la organización.

La estructura de la documentación utilizada en el sistema de gestión de la calidad puede describirse y entenderse en forma jerárquica. Esta estructura facilita la distribución conservación y entendimiento de la documentación. La documentación del sistema de gestión de la calidad usualmente incluye lo siguiente:

- Política de calidad y sus objetivos
- Manual de la calidad
- Procedimientos documentados
- Instrucciones de trabajo
- Formularios
- Planes de calidad
- Especificaciones
- Documentos externos
- Registros

Debido a que la empresa ya cuenta con un sistema de gestión de la calidad, ahora que se quiere aplicar esta gestión al Departamento de Mantenimiento, no se deben realizar todos los pasos que se mencionan anteriormente, puesto que el departamento de mantenimiento solo se agregará al mismo sistema, siguiendo los objetivos y lineamientos que dicta la política de calidad.

4.3. Procedimientos, registros e instructivos

Este proyecto se enfocó en la realización de los procedimientos, instructivos, formularios y registros de los métodos y análisis que se aplican para la ejecución del mantenimiento preventivo y predictivo.

4.3.1. Procedimientos documentados

La estructura y formato de los procedimientos documentados (en papel o medios electrónicos) deberían estar definidos por la organización de las siguientes maneras: texto, diagramas de flujo, tablas, una combinación de estas, o por cualquier otro método adecuado de acuerdo con las necesidades de la organización. Los procedimientos deberían contener la información necesaria y cada uno de ellos una identificación única.

Los procedimientos documentados pueden hacer referencia a instrucciones de trabajo que definan cómo se desarrolla una actividad. Los procedimientos documentados generalmente describen actividades que competen a funciones diferentes, mientras las instrucciones de trabajo generalmente se aplican a las tareas dentro de una función. Dentro del contenido que debe poseer un registro se debe de tener en cuenta lo siguiente:

4.3.1.1. Título

Debe identificar claramente el procedimiento documentado.

4.3.1.2. Propósito

El propósito de los procedimientos documentados debería estar definido.

4.3.1.3. Alcance

Se debería describir el alcance de los procedimientos, documentando e incluyendo las áreas que cubre y las que no.

4.3.1.4. Responsabilidad y autoridad

La responsabilidad y autoridad de las funciones del personal y/o de la organización, así como sus interrelaciones asociadas con los procesos y las actividades descritas en el procedimiento, deberían estar identificadas. Para mayor claridad, estas pueden ser descritas en el procedimiento en forma de diagrama de flujo y textos descriptivos, según sea apropiado.

4.3.1.5. Descripción de actividades

El nivel de detalle puede variar dependiendo de la complejidad de las actividades, los métodos utilizados, y el nivel de habilidades y formación necesario para que el personal logre llevar a cabo las actividades.

4.3.1.6. Registros

Los registros relacionados con las actividades descritas en el procedimiento documentado deberían definirse en esta sección del procedimiento, documentado en otra u otras secciones relacionadas. Los formularios que se utilicen para estos registros deberían estar identificados. Además, debe haberse establecido el método requerido para completar, archivar y conservar los registros.

4.3.1.7. Anexos

Pueden incluirse anexos que contengan información de apoyo al procedimiento documentado, tales como tablas, gráficos, diagramas de flujo y formularios.

4.3.2. Instructivos de trabajo

Las instrucciones de trabajo deberían ser desarrolladas y mantenidas para describir el desempeño de todo trabajo que podría verse afectado adversamente por la falta de tales instrucciones. Existen muchas maneras de preparar y presentar las instrucciones.

Las instrucciones de trabajo deberían contener el título y una identificación única. La estructura, formato y nivel de detalle utilizado en las instrucciones de trabajo deberían adaptarse a las necesidades del personal de la organización, de acuerdo con la complejidad del trabajo, métodos utilizados, formación recibida y las habilidades y calificaciones de tal personal.

La estructura de las instrucciones de trabajo puede variar respecto de los procedimientos documentados. Las instrucciones de trabajo pueden estar incluidas en los procedimientos documentados o hacerse referencia a ellos.

4.3.2.1. Contenido

Las instrucciones de trabajo deberían describir las actividades críticas. Es conveniente evitar detalles que no den mayor control de la actividad. La formación puede reducir la necesidad de tener instrucciones detalladas, siempre y cuando el personal involucrado tenga la información necesaria para hacer su trabajo correctamente.

4.3.2.2. Tipos de instructivos

Aunque no se requiera una estructura o formato para las instrucciones de trabajo, generalmente estas deberían cubrir el propósito y alcance del trabajo y los objetivos, y hacer referencia a los procedimientos documentados pertinentes.

En cualquier formato seleccionado, las instrucciones de trabajo deberían estar en el orden o secuencia de las operaciones, que reflejen exactamente los requisitos y actividades pertinentes. Un formato o estructura coherente debería ser establecido y mantenido para reducir la confusión e incertidumbre.

4.3.2.3. Registros especificados

Cuando sea aplicable, los registros especificados en la instrucción de trabajo deberían definirse en esta sección o en otra, u otras secciones relacionadas.

Los registros mínimos requeridos están identificados en la Norma ISO 9001. El método requerido para completar, archivar y conservar los registros debería estar establecido. Es necesario que los formularios usados para estos registros estén identificados como corresponda.

4.3.3. Registros

Los registros del sistema de gestión de la calidad muestran los resultados obtenidos o proporcionan evidencia que indica que se están realizando las actividades establecidas en los procedimientos documentados e instrucciones de trabajo. Los registros deberían indicar el cumplimiento de los requisitos del sistema de gestión de calidad y de los especificados para la realización de la tarea. Las responsabilidades para la preparación de los registros deberían ser consideradas en la documentación del sistema de gestión de la calidad (Norma ISO 10013-2001).

4.4. Estudio tribológico

Como se pudo observar anteriormente, la tribología es el estudio del fenómeno de desgaste que ocurre cuando interactúan dos superficies en contacto de igual o distinta dureza. En el caso del presente estudio, el análisis tribológico se centra en adecuar el tipo de método de lubricación para los distintos tipos de elementos que interactúan durante el proceso de operación del equipo de impresión.

La impresora flexográfica como tal cuenta con 135 puntos de lubricación, entre los cuales destaca el mantenimiento de elementos vitales para el buen funcionamiento del equipo.

Dentro de estos elementos se cuenta con chumaceras, cojinetes, cadenas y engranes, los cuales están sometidos a exigencias de esfuerzos elevados, altas velocidades y sujetos a desgaste. Esto es debido a la naturaleza del equipo de impresión y como se mencionó anteriormente, este equipo utiliza la energía rotacional proveniente de un poderoso motor de 60 HP, el cual transmite toda la potencia a los módulos de la impresora.

Dado que la misma está ubicada de tal manera que cada uno de sus módulos están acoplados entre sí en una disposición en serie, esto permite que el primer módulo sea el que contenga los engranes conductores y el resto, los engranajes guiados.

Para garantizar el cuidado de estos elementos se optó por realizar un estudio comparativo en cuanto al tipo de lubricante que se estaba usando actualmente; la lubricación actual estaba basada en la lubricación de los elementos por medio de grasa.

Actualmente se estaba usando una grasa hecha a base de complejo de calcio, la cual se compró por dos motivos importantes: porque era un tipo de grasa que se había recomendado como sustitución de la que el fabricante dictamina para aplicar y porque a lo largo del tiempo se considera que esta grasa ha trabajado de buena manera. Sin embargo los periodos de lubricación y relubricación de los elementos era demasiado corto, y se constató que se debía a que la grasa era consumida de manera rápida; esto se notó debido a que siempre era necesario colocar la misma cantidad de grasa en las chumaceras.

Esto debido a que dichos elementos rodantes, por su naturaleza generan calor al momento de su funcionamiento, lo que hace que genere una reacción en la propia grasa y que con el tiempo se reduzca la cantidad dentro del mismo

elemento; el inconveniente de esto es que si en un determinado momento no se realiza la relubricación, estos elementos pueden comenzar a trabajar con lubricación de tipo límite, lo que haría que aumente la probabilidad de desgaste en los mismos.

Actualmente la lubricación con esta grasa se realiza cada 3 días, debido a que la empresa cuenta con dos turnos de operación, uno durante el día y el otro por la noche, lo cual hace que se le exija al máximo a estos equipos.

Por tal motivo, el análisis de lubricación consiste en buscar un lubricante de tipo grasa que brinde mayores beneficios en protección y duración debido a sus características y propiedades. Bajo estas condiciones se optó por recibir asesoría por parte de un proveedor de grasas de tipo industrial, quien realizó una propuesta basada en el uso de un tipo de grasa hecha a base de complejo de litio, la cual es de grado 2 y contiene aditivos de extrema presión de segunda generación.

Una vez designada y conociendo las características de dicha grasa se procedió a hacer una aplicación de la misma en puntos que se consideran cruciales para el buen funcionamiento y operación del equipo; tal es el caso de los engranes de transmisión de potencia y las chumaceras principales de los módulos de tinta, las cuales se encargan de sostener y permitir el libre movimiento de los rodillos de impresión y los jaladores de presión y corte.

El estudio consistió en evaluar desde la primera aplicación de dicha grasa; esta debe corresponder a la cantidad máxima que puede ser colocada en la chumacera; posterior a ello se le dio seguimiento diariamente, verificando cómo se encontraba dicha grasa, si se presentaba algún tipo de goteo en las chumaceras o si existía un posible ruido ocasionado por desgaste.

A los tres días, como se acostumbraba con la grasa anterior, se aplicó grasa nuevamente, con el fin de determinar qué cantidad se había consumido. De esa manera puede tenerse un parámetro consistente en términos de duración; dada la evaluación se determinó que luego del tiempo transcurrido existía una pérdida aproximada de 30 % de grasa.

Con base en este dato se dispuso aumentar el tiempo para lubricación, y debido a que el mantenimiento de limpieza y ajustes del equipo está programado semanalmente, se determinó que este sería el nuevo periodo de lubricación. Sin embargo tal decisión sería aprobada hasta garantizar que este nuevo periodo no afecta en la duración y desgaste de los elementos.

Para medir este nuevo desempeño, se optó por darle una revisión diaria a los elementos y garantizar cuál era la reducción en el consumo de grasa; esto tomando en cuenta el volumen total de grasa en los elementos y monitoreando de forma periódica. El resultado obtenido luego de la semana de operación del equipo fue que el consumo de grasa en las partes era de 70 %, con lo cual se considera que es un rango aceptable y de protección para los equipos. Por tal motivo se llegó a la conclusión de que en este periodo se adoptaría la lubricación del equipo de impresión, siempre y cuando se estuviera aplicando una grasa con estas características.

En otros tipos de equipo, el análisis de lubricación consistirá en obtener muestras de los aceites usados en los mismos, esto con el fin de determinar el desgaste que pueda ocurrir en los mismos. Este tipo de estudio es aplicado a cajas reductoras, las cuales usan lubricantes tipo aceite; esta clase de análisis permite determinar el periodo de cambio del aceite, tomando como parámetros los contaminantes y desgaste encontrados.

En el caso de la impresora se determinó que se realizaría un procedimiento estandarizado aplicándolo en primer lugar a la impresora 1 (modelo 6PS), que luego de su evaluación y resultados, podría aplicarse al resto de las impresoras. A continuación se describe parte de este proceso de lubricación.

4.4.1. Procedimiento de lubricación

Este procedimiento fue diseñado con el objetivo de contribuir con el auxilio del mantenimiento preventivo buscando tener un mejor control de su aplicación; también se orienta hacia la implementación de un futuro mantenimiento predictivo y proactivo.

Para elaborar este procedimiento fue necesario identificar todos los elementos del equipo involucrados en el mantenimiento. El procedimiento está enfocado a la aplicación del tipo de lubricación adecuada para cada elemento del equipo; por tal razón fue necesario determinar los diferentes tipos de elementos que posee el mismo y con base en ello decidir qué lubricación requerirá cada uno. Entre estos elementos están las chumaceras, cadenas y engranes.

Luego de la identificación de estos elementos se generó un listado de identidades, en donde estuvieran registrados los mismos. Esta información se utilizará para programar el mantenimiento de la impresora y garantizar que se conocen y lubrican todos sus puntos. Estos datos se incluyen en el listado de identidades creadas. (Ver en anexos los registros de identidades 5PA y 6 PS).

4.5. Análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones es un estudio enfocado en determinar el estado de los componentes que utilizan la inercia rotacional en la operación de los equipos, tal es el caso de elementos como rodamientos y ejes que se encuentran en los motores, bombas, *blowers*, y chumaceras que interactúan en el funcionamiento de la impresora flexográfica. El análisis tiene por objeto observar el desempeño de estos elementos, a manera de determinar en qué punto dejan de estar en condiciones óptimas de trabajo y pasan al estatus de elementos que pueden causar una avería o desperfecto en el equipo.

A fin de obtener los máximos beneficios del equipo y preservarlo la mayor cantidad de tiempo posible en buenas condiciones, se busca aplicar de manera permanente y bajo ciertos criterios estandarizados las rutinas de mantenimiento preventivo, el cual podrá convertirse en mantenimiento predictivo y proactivo si se aplica correctamente; de esa manera podrán generarse respuestas rápidas a situaciones que estén bajo riesgos controlados; tal podría ser el caso de operar por un determinado periodo un equipo que presente un rango de vibraciones fuera de lo normal, pero que en ese punto no puede causar una avería grave del mismo, para luego del proceso de producción programar el reemplazo del elemento dañado.

Para alcanzar tales objetivos se optó por la realización de un procedimiento, instructivo y registro de las actividades relacionadas con el análisis de vibraciones; la metodología seguida se expone a continuación. Todo con base en la normativa que presenta ISO 9001:2008, así como el auxilio de otras normas que rigen los propios estándares para análisis de vibraciones.

4.5.1. Procedimiento de análisis de vibraciones

El objetivo principal del procedimiento de vibraciones es dictaminar, los parámetros necesarios para realizar la toma de las lecturas de los diversos elementos que componen la impresora. Como se mencionó anteriormente, para la realización de estos procedimientos fue necesario hacer una identificación de los elementos que componen la impresora.

Ya ubicados los diversos elementos de la impresora se estableció el procedimiento y se identificó a los mecánicos de línea como las personas responsables de la ejecución de este mantenimiento. Se establecieron las responsabilidades de los mismos, y las áreas a las cuales se enfocarán, así como los materiales que servirán para la realización del trabajo. También da los lineamientos de la forma en que se entregarán los resultados y las personas a quiénes dirigirse cuando uno de los mismos se encuentra en rangos de alerta.

4.5.2. Instructivos de trabajo para el análisis de vibraciones

El instructivo de trabajo contiene la descripción más detallada sobre los objetivos que tiene el análisis de vibraciones, así como la descripción del equipo para la ejecución del trabajo. También incluye la manera correcta en cómo realizar cada medición, dependiendo del elemento que se va a evaluar; este punto es bastante importante y crucial para determinar de manera segura el estado de los componentes que se están evaluando. Asimismo, con base en lo establecido en la norma ISO10816-1, se obtienen los valores límites para evaluar las vibraciones en máquinas, con lo cual se puede determinar si los equipos se encuentran en rangos seguros de operación, y en qué momento es aconsejable realizar los cambios respectivos para evitar averías en los equipos.

Podrá determinarse, además, la vida promedio de los elementos sometidos a este tipo de trabajo; con ello se logra generar suficiente información para la creación de un mantenimiento predictivo y proactivo. Esto puede servir para la identificación de piezas que requieran lubricación.

En el instructivo propiamente se pueden observar los diversos métodos de toma de lecturas e interpretación de las mismas. Toda esta información es almacenada en las órdenes de trabajo hechas específicamente para cada equipo. (Ver en los anexos el análisis de vibraciones, procedimiento e instructivo de trabajo).

Figura 39. Aplicación de análisis de vibración en chumaceras de un eje de entrada a la flauta de corrugación



Fuente: instalaciones de la empresa.

4.6. Análisis de amperajes

El objetivo de la toma de amperajes, al igual que los procedimientos anteriores, es poder hacer una estandarización en cuanto a las formas en que se realiza este análisis, incluyendo la inspección del equipo al cual se le aplica la medición, así como la interpretación y presentación de estos datos.

4.6.1. Procedimiento para análisis de amperajes

En el procedimiento se indican las responsabilidades de las personas encargadas de la toma de datos, así como los responsables de la supervisión y planificación del mantenimiento.

Este análisis está orientado al monitoreo del funcionamiento de los motores eléctricos en los diversos equipos con los que cuenta la planta de producción, aunque trabajando los mismos de manera independiente.

Al igual que los procedimientos anteriores, se cuenta con una base de datos de las identidades con las que cuentan los diversos equipos, tales como el corrugador o las impresoras, cortadoras, entre otros.

El monitoreo de estos equipos sirve para tener idea de cuál es su consumo eléctrico, lo que puede servir para analizar aspectos como si el motor está operando de forma normal o si tiene algún problema, lo cual causa que tenga un consumo mayor, tal podría ser el caso de una avería mecánica, como que un rodamiento se encuentre dañado, lo cual le genera más fricción y por lo mismo le demanda más esfuerzo; podría tratarse también de fallas en el devanado interno del motor, lo cual causa demasiadas pérdidas eléctricas que se verán reflejadas en su alto consumo.

Con el procedimiento se busca que el mecánico de mantenimiento conozca cómo determinar si un motor eléctrico posee una falla mecánica o eléctrica, lo cual dé como resultado una variación significativa en el consumo de electricidad del equipo. El procedimiento brinda un soporte al mecánico respecto de las herramientas que debe de utilizar, así como de la interpretación de los resultados.

4.6.2. Instructivo de análisis de amperaje

Este instructivo brinda información acerca de cómo se deben realizar la lectura y la metodología al momento de tomar los datos en los equipos mencionados. Describe los documentos adjuntos con los que debe de contar la persona encargada de realizar las lecturas, así como la forma de entregar los reportes del mismo. (Para conocer mejor la metodología, puede consultarse el análisis de amperajes, procedimiento e instructivo).

Figura 40. **Aplicación del análisis de amperajes a un módulo de control eléctrico**



Fuente: instalaciones de la empresa.

4.7. Limpieza y mantenimiento de sistemas eléctricos e infraestructura

Estos procedimientos están encaminados a dictaminar estándares, basados en la periodicidad con que se hará la limpieza en las áreas de ubicación de equipos eléctricos (tableros de mando), limpieza de componentes electrónicos y extintores; en el área de calderas, limpieza de lámparas, de paredes, techos y tuberías. Así como el procedimiento e instructivo para la medición de consumos energéticos. Con esto se busca que tanto los ambientes de trabajo, como los de suministros y almacenaje posean un buen flujo de electricidad y con esto operar bajo las condiciones más adecuadas posibles.

El personal de la planta debe apoyarse en todos los lineamientos anteriores para tener una mayor ergonomía durante el desarrollo de sus actividades.

4.8. Mejoras a sistema de succión y limpieza de la impresora industrial

En estos procedimientos se establece quiénes son los responsables de la ejecución de los mismos, la frecuencia con que se ejecutarán, así como los estándares que debe poseer cada uno, para verificar que se está alcanzando el objetivo en cada procedimiento. Además, estos procedimientos afectan directamente en el área de producción donde se ubican las impresoras, puesto que es un área de esencial cuidado durante el proceso de producción.

Como resultado de la aplicación y seguimiento de los objetivos que se buscan con la aplicación de los diversos procedimientos e instructivos, se

hicieron notar deficiencias en el proceso de impresión que afectan en el mantenimiento de los equipos, así como en la calidad del producto terminado.

La deficiencia más grande se presenta en la impresora industrial, la cual durante el proceso de producción, en la etapa del corte y troquelado de las cajas de cartón, produce demasiadas partículas del mismo cartón, las cuales contaminan toda el área de trabajo.

Esta contaminación se extiende no solo al módulo de troquel sino también al resto del área de impresoras, debido a que los módulos de tinta y de alimentación, cuentan con equipos para realizar la succión (*blowers*) de las planchas de cartón a modo de evitar que las mismas estén en la posición correcta para la impresión.

Estos equipos cuentan con bolsas hechas de tela o lona para atrapar el polvo que es succionado durante su operación. El inconveniente existe debido a que por la presión que ejerce el *blower*, las bolsas tienden a dañarse muy rápidamente, provocando que solo se atrapen las partículas de polvo más grandes, dejando escapar un polvo fino que suele ser más contaminante para el producto y cuidado de los equipos, y dañino para el personal que labora en el área.

El *blower* es un equipo que tiene como función la succión, la cual tiene diversas aplicaciones tales como generar vacío, limpieza y recolección de elementos o partículas. Se le puede relacionar como una bomba centrífuga en su sentido inverso, puesto que en lugar de generar una presión positiva, crea una succión o presión negativa que genera el vacío.

Luego de estudiar el área de producción por parte del departamento de mantenimiento y debido a las necesidades que demandaban los clientes de las mismas, puesto que en sus inspecciones y visitas a la planta toman este aspecto como un elemento que no garantizaba con los estándares de calidad e inocuidad en la producción, se llegó a la conclusión que esto era un aspecto que debería de cambiar para alcanzar los objetivos de calidad plasmados en los procedimientos de limpieza, así como en el objetivo de la política de calidad, la cual se enfoca en la satisfacción del cliente.

Con base en lo anterior se prosiguió hasta encontrar una solución a la problemática, determinando cuáles son las causas de la misma para contrarrestarlas desde ahí.

4.8.1. Causas del problema

La causa principal del problema se origina al momento de realizar los cortes y troqueles a las cajas; en esta etapa del proceso se genera un polvo fino, que es atrapado por medio de un filtro que se encuentra al final de la tubería de descarga del *blower*.

Sin embargo dicho filtro, por el mismo flujo de descarga, no logra capturar todas las partículas de desecho, hasta un momento donde más del 60 por ciento de las partículas son expulsadas hacia el ambiente interno del área de operación, con lo que la misma genera demasiados contaminantes nocivos para la salud y calidad del producto. Se ha determinado que el tipo de filtro usado para atrapar las partículas, no logra cumplir de buena manera su función, esto debido a que se deteriora muy rápido debido a la presión constante que recibe; y también en buena medida del material con el que está hecho.

4.8.2. Solución posible

La solución al problema de contaminación por residuos provenientes del corte de las láminas de cartón, se puede plantear analizando cuál es una de las principales causas del problema.

Se conoce que estos contaminantes se producen en el momento de corte en la parte de la impresora, luego son extraídos por el sistema de succión (*blowers*) y depositados en las bolsas colectoras.

Se sabe también que en esta última ubicación es donde se produce la mayor cantidad de contaminantes; esto es porque el material de las bolsas sirve como un filtro que solo retiene las partículas grandes y deja libres las de menor tamaño.

Para solucionar este problema se debe de buscar un reemplazo a este tipo de sistema, no es posible el quitar los *blowers* o dejarlos sin operación, puesto que la función de los mismos no solo es la absorción del material eliminado en el corte, sino la generación de vacío para que las láminas de cartón tengan una adherencia hacia la mesa de cada módulo de tinta, con lo que se evita que estas se muevan y salgan mal las impresiones.

En cuanto al reemplazo más frecuente de las bolsas para evitar que por el desgaste ocasionado por la presión de aire dejen escapar las partículas, es posible, aunque significaría un costo mayor, tanto a mediano como largo plazo, puesto que es un sistema que se basaría en las horas de operación permisibles hasta que la contaminación sea demasiado evidente como hasta el momento; aun así, no significaría evitar con alto grado de porcentaje la reducción de los contaminantes.

Una solución más viable que se puede adoptar es la unificación de los *blowers* de cada impresora a un sistema de tuberías colectoras; esto con el objeto de direccionar todo el material de desperdicio (polvo), depositándolo en un ciclón, el cual, luego de almacenarlo, sería utilizado para quemarlo en una pequeña caldera que opera con basura o compactado para utilizarlo en el proceso de reciclaje de cartón, para generar nuevas bobinas de material.

De las posibles soluciones planteadas, se optó por esta última, puesto que se tiene de referencia un ciclón que opera en la planta de producción, en el área de corte del corrugador; este se encarga de recopilar segmentos de cartón mediante la succión de un *blower*, el cual también corta el cartón para luego ser enviado al ciclón, donde la presión de vacío y empuje es reducida, con lo que el material puede caer al fondo del mismo y ser depositado en la compactadora, para trabajarlo y ser enviado a la planta recicladora.

Después de haber adoptado este método, se comenzó a hacer el estudio y diseño de los planos del sistema; se tuvo que evaluar la forma más conveniente de colocar esta red de tubos a una altura y distancia prudente de los equipos, para no afectar la succión del *blowers*, así como no afectar la operación y movimiento de la impresora.

4.8.3. Diseño

Para la realización del diseño se aplicaron las ecuaciones de continuidad para el cálculo de caudal y diámetro de tubería, así como de un software de diseño mecánico en 3D, el cual servirá para encontrar el diseño óptimo que se adapte a la configuración de la planta. A continuación se describe el cálculo de los diámetros de la tubería.

Para el cálculo de la tubería de succión se optó por aplicar la ecuación de continuidad, usada para el cálculo de fluidos, la cual presenta una relación existente entre el volumen que pasa por una tubería, relacionado con su velocidad y área.

Se consideró que puede aplicarse en este cálculo, ya que se trata de un diseño puramente industrial cuyo objetivo es la unificación de un sistema de tuberías que transportan aire, el cual contiene una cierta cantidad de desechos, de un tamaño sumamente pequeño, que por su dispersión no afecta en gran medida el diseño de este.

Ecuación de continuidad

$$Q = V_{fluido} * A_{transversal}$$
$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_n \dots$$

Donde

Q = caudal

V = velocidad del fluido

A = área transversal de la tubería que transporta al fluido

Entonces el cálculo del ducto para la impresora 1 queda de la siguiente manera:

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

Donde

Q = V*A

Sustituyendo las variables

$$V_t \times A_t = V_1 \times A_1 + V_2 \times A_2$$

En donde las velocidades del caudal que viaja por las tuberías que se unen, son constantes e iguales; por lo anterior, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$A_t = A_1 + A_2$$

Despejando se obtiene

$$V_t \times \pi r_t^2 = V_1 \times \pi r_1^2 + V_2 \times \pi r_2^2$$

Donde $V_1 = V_2$; en ambos ductos las velocidades es la misma porque los mismos poseen el mismo ancho y caudal.

∴

$$V_t \times \pi r_t^2 = V_1(\pi r_1^2 + \pi r_2^2)$$

Considerando que se quiere que la velocidad final resultante V_t sea igual a la velocidad que entra al ducto principal proveniente de los *blowers* 1 y 2, queda de la siguiente manera:

$$\pi r_t^2 = (\pi r_1^2 + \pi r_2^2)$$

Entonces, despejando la ecuación para el radio del ducto resultante se obtiene:

$$r_t = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

Aplicando la ecuación anterior se pueden dimensionar los diámetros correspondientes al ducto que llevará el flujo de aire hasta su ubicación final fuera de la planta de producción. Este ducto será aplicado a las dos impresoras principales y más modernas que se encuentran en la planta de producción, debido a que ellas, por lo mismo, son las que cuentan con el mayor número de sistemas de vacío.

Debido a lo anterior se ha optado por aplicar un sistema individual de ductos, con lo cual se podrá direccionar el flujo hacia el sifón de descargas sin afectar el trabajo del otro equipo; esto debido a que dichos equipos, en determinado momento, no están operando al mismo tiempo.

Para el diseño del *blower* se optó por colocar mangueras flexibles en la salida de cada uno, que se unieran con el ducto de desfogue; con base en esto, se fueron generando los diámetros del ducto, dependiendo de la cantidad de *blowers* que se iban adjuntando. La distancia con que permanecía un ducto de este tamaño dependía de qué tanto espacio existe entre un *blower* y otro, que por lo general en el lado de la impresora los segmentos son más cortos en relación con el lado del puente. El cálculo del ducto para la primera impresora viene dado de la siguiente manera:

- Codo de 90°: usado para el *blower* de alimentación, el cual tiene un diámetro de 8”.
- Sección de ducto de 8” : este es el tramo que conecta al codo de 90° al unirse con el segundo *blower*.
- Unión Y de *blowers*: esta unión tiene la particularidad de poseer dos lados del mismo tamaño y no ser el resultado de la unión de los dos anteriores.

El cálculo se hace de la siguiente manera: unión en Y, *blower* módulo de alimentación:

$$r_t = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

$$r_t = \sqrt{(4)^2 + (4)^2}$$

$$r_t = 5,66 \text{ "}$$

$$\varnothing = 11,5 \text{ "}$$

Para tal efecto, debido a que la unión en "Y" cuenta con dos medidas distintas, es necesario realizarle un cono que varíe el tamaño de la unión que viene del *blower* primario, para que se ajuste al tamaño resultante de la unión de estos dos. Deben tomarse en cuenta los siguientes elementos:

- Segmento de diámetro 11,5": este tramo de ducto es el que conecta el saliente de la unión en Y, y el *blower* del módulo de tinta 1.
- Cono de cambio de sección: este cono es el que está ubicado en la entrada a la unión en Y, del *blower* 1, debido al cambio de sección del mismo.
- Unión de *blower* módulo de tinta 1: esta es otra unión en Y, la cual une un segmento del ducto de 11.5" de diámetro con otro *blower* de 8". Para este diámetro se hizo el siguiente cálculo:

$$r_t = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

$$r_t = \sqrt{5,75^2 + 4^2}$$

$$r_t = 7,00 \text{ "}$$

$$\varnothing = 14,0''$$

- Segmento de ducto de diámetro 14": es el saliente de la unión en Y de 14" y que se une al cono para el cambio de sección y unirse a la intersección del *blower* del módulo de tinta 2.
- Cono de 14 a 16": este realiza el cambio de tamaño de ducto de 14" a 16" en la entrada a la unión del *blower* del módulo de tinta 2.
- Unión Y de *blower* módulo de tinta 2: es la unión que se da al unir los caudales anteriores con los de este *blower*. El cálculo se da de la siguiente manera:

$$r_t = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

$$r_t = \sqrt{7^2 + 4^2}$$

$$r_t = 8,00''$$

$$\varnothing = 16,0''$$

- Sección de diámetro de 16": esta es la sección que une el ducto saliente del *blower* del módulo de tinta 1 con la unión en Y del *blower* del módulo de tinta 3.
- Unión en Y de *blower* del módulo de tinta 3: en este tramo se unen los caudales provenientes de los módulos anteriores con el del módulo 3. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$r_t = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

$$r_t = \sqrt{8^2 + 4^2}$$

$$r_t = 9,00''$$

$$\emptyset = 18,0''$$

- Cono de 18 a 20: este es el cono que se usa para unir la sección proveniente del ducto de 18" con el del módulo de tinta 4.
- Unión en Y módulo de tinta 4: esta se da en el flujo proveniente de los módulos anteriores, con el *blower* del módulo de tinta 4. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$r_t = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

$$r_t = \sqrt{9^2 + 4^2}$$

$$r_t = 9,85'' \text{ Aprox} = 10''$$

$$\emptyset = 20,0''$$

- Segmento de diámetro de 20": este corresponde a un tramo de ducto, el cual sale desde la unión en el módulo de tinta 4 y se encuentra o une a una segunda unión, la cual redirecciona al fluido hacia el sifón de desfogue. De igual manera que para la parte de la impresora, se unificaron los caudales de los *blowers* provenientes de la parte del puente en un solo ducto que se unirá con el caudal del lado de la impresora: estos segmentos han sido colocados utilizando los siguientes elementos:
 - Curva abierta de 90°: es en donde se conecta el primer *blower* al puente; este posee un diámetro de 8".
 - Segmento de diámetro 8": este es un tramo del ducto que conecta el primer *blower* con los que están ubicados sobre el cuadrador del puente.

- Cono de 8 a 11,5": este sirve de unión entre el ducto de 8" y la unión en Y de 11,5 donde se unen los *blowers* ubicados sobre el cuadrador.
- Unión en Y *blowers* de cuadrado: es usada para unir el primer *blower* de la mesa final de embalaje, con los ubicados en el cuadrador. El cálculo del diámetro de este nuevo ducto se realizó de la siguiente manera:

$$r_t = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

$$r_t = \sqrt{4^2 + 4^2}$$

$$r_t = 5,66 \text{ Aprox} = 5,75$$

$$\emptyset = 11,50$$

- Segmento de diámetro 11.5": este corresponde a la longitud del ducto, el cual sale de la unión que hay en el área del cuadrador y va en dirección de la unión central de los ductos principales de la impresora. Este corresponde a una longitud de 220 pulgadas.
- Unión central ducto de impresora y puente, equipo 5PA: este elemento del sistema de succión consiste en una unión en "T", la cual unifica los caudales provenientes de la parte de la impresora con los que vienen de la parte del puente de la misma impresora, esto redireccionado para que tenga terminación en el sifón de descarga en la parte trasera del área de impresoras. Para la realización de este segmento se tuvo que realizar el cálculo correspondiente a las dimensiones del nuevo ducto conteniendo ambos caudales, de la siguiente manera:

$$r_t = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

$$r_t = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

$$r_t = \sqrt{10^2 + 5,75^2}$$

$$r_t = 11,53 \text{ Aprox} = 11,5''$$

$$\varnothing = 23''$$

- Ducto de descarga a sifón: posee el mismo diámetro que el de salida de la unión en T, que es de 23". Posee una longitud de 642 pulgadas, aproximadamente unos 53,5 pies.
- Sifón de descarga: el sifón de descarga del caudal de los *blowers* es un colector con forma de cilindro en la parte superior y cónica en la inferior. Los ductos colectores entran al mismo por la parte superior donde la presión es liberada, porque cuenta con orificio en la parte superior, donde posee un grupo de filtros que impide que el polvo y desechos salgan expulsados al ambiente; asimismo posee una tapa en forma de gorro chino, que evita que la lluvia entre al mismo y moje los filtros. En la parte inferior posee la forma de un embudo que recolecta los residuos de cartón de una manera muy sencilla, para lo cual se puede hacer uso de bolsas para basura. Asimismo, el sifón en su parte interna cuenta con una estructura en forma de espiral, que facilita que los desperdicios bajen libremente hasta el fondo del mismo.
- Esta estructura forma el recolector final del sistema, acá es donde todos los desechos vienen a terminar. Los mismos serán acumulados para darles uso más productivo posteriormente, ya sea para compactarlo y hacer más papel o bien para ser quemado como combustible en una caldera ecológica de baja presión.

5. FASE DE DOCENCIA. RESULTADOS

5.1. Capacitación de la aplicación y gestión del mantenimiento preventivo y predictivo

En esta parte se hace énfasis en los resultados obtenidos de las mejoras que se han implementado en el mantenimiento de las impresoras; en el aspecto de cuidado, diagnóstico y proyección del estado de los equipos.

Esta etapa de resultados está compuesta por los datos que se han ido obteniendo de monitorear los equipos, con base en la aplicación de los procedimientos y registros de los mismos. Estos registros llevan el control de las inspecciones y aplicación de los análisis de vibraciones, amperajes, lubricación y limpieza de las áreas.

Con lo anterior se ha logrado capacitar al personal de mantenimiento en cuanto a la aplicación de estos procedimientos y cómo analizar la información que han recolectado de los mismos.

Se ha logrado la aplicación en varias áreas de la empresa, tanto en la línea del corrugador que es una de las principales, puesto que los paros que presente en ella pueden causar grandes pérdidas en cuanto a material y tiempo de producción, como en el área de las impresoras, con lo cual se ha podido adjuntar al calendario del mantenimiento preventivo de las mismas. Con esto se ha logrado mejorar el rendimiento de los insumos para la operación de los equipos como en el caso de la lubricación y selección de lubricantes que brinden mayor protección en periodos de tiempo más extensos.

Se ha logrado de igual manera tener un control y seguimiento continuo que garantiza que los equipos contarán con la cantidad y periodicidad adecuada en el sentido de la aplicación de la lubricación. También se está logrando implementar este sistema para el resto de los equipos de la planta, con lo cual se busca el optimizar el mantenimiento, y tener bajo control los cambios, análisis y reparaciones que se realizan en los diversos equipos de la planta.

En cuanto a la aplicación de los procedimientos de análisis de vibraciones, toma de amperajes y análisis tribológico, estos han servido de bastante auxilio para tener un control de todos los elementos que intervienen en el proceso de producción.

Con esto se garantiza el cuidado y monitoreo de los equipos; actualmente se ha logrado evidenciar que existen problemas en algunos de los mismos, lo cual ha dado por generar un mal funcionamiento; en otras ocasiones se ha evidenciado que hay elementos que ya están deteriorados en algunos ejes que presentan vibraciones elevadas, lo cual es indicio de fallas en rodamientos o desgastes; con base en esto se planifican las reparaciones preventivas pertinentes y se procede a continuar con el análisis del nuevo elemento, buscando generar información para un mantenimiento predictivo.

El análisis de amperajes ha evidenciado fallas en motores eléctricos, notándose un incremento en la temperatura y en el consumo de corriente irregular, lo que hace que el costo de la operación sea elevado y el motor esté propenso a un paro repentino por falla del devanado. Estas evidencias son vitales en la planificación de mantenimientos preventivos, para buscar generar un mantenimiento predictivo, reduciendo con ello los mantenimientos correctivos que actualmente se dan de manera frecuente y afectan de forma directa la producción.

El análisis de amperajes se complementa con el análisis de vibraciones y el tribológico, puesto que aplicando los tres tipos de análisis a un elemento del equipo se puede determinar en primer plano si las vibraciones del mismo están en un rango permisible seguro. Seguido a esto se ve el nivel de lubricante, puesto que si es bajo, puede afectar en el aumento del desgaste y por lo mismo en las vibraciones.

Posteriormente se hizo el análisis de la temperatura, puesto que es uno de los factores cambiantes que alerta si algún componente tiene algún problema; si es el calentamiento de un elemento mecánico, puede tratarse de un rodamiento; si el incremento de temperatura se debe a algo eléctrico, puede tratarse del devanado del motor, con lo que al realizar el análisis de amperajes se denotará un elevado consumo de corriente.

5.2. Capacitación sobre el uso del software de diseño mecánico

Mediante el análisis y mejoras que se implementaron en el sistema de succión de la impresora flexográfica, se hizo notable la importancia de contar con un software de diseño mecánico CAD/CAE, como el usado para este diseño.

Se impartieron capacitaciones tanto al personal administrativo de mantenimiento jefe de mecánicos, jefe de mantenimiento, jefe de proyectos, así como al personal de mantenimiento. En dichas capacitaciones se les dio a conocer el funcionamiento del programa, así como ejercicios simples respecto de diseños que ellos manejan. Al implementar este sistema de trabajo en sus proyectos, ellos garantizarán conocer cuáles serán los resultados antes de ejecutarlos físicamente. Con ello se tiene un mejor aprovechamiento de los espacios, materiales y tiempo de ejecución.

Se espera que este método sea aplicado por las jefaturas para optimizar los trabajos en el área de proyectos, y mejoras en el área de producción, así como para modificaciones y mejoras a los equipos.

CONCLUSIONES

1. Mediante la implementación del sistema de gestión ISO 9001:2008 se logró generar e implementar procedimientos, instructivos y registros para tres de los equipos principales de impresión en el área de producción.
2. Con los registros de los equipos se obtuvo un mejor *stock* de inventario de bodega, debido a que se conocen las diversas partes con que cuentan los equipos.
3. Con los registros generados se puede llevar un historial de las reparaciones, elementos y demás componentes de los equipos, y con ello desarrollar un mantenimiento predictivo.
4. Mediante el diseño del ducto de succión de desechos se logrará aumentar la calidad de operación en la planta, lo cual contribuye a alcanzar las expectativas de calidad de sus clientes.

RECOMENDACIONES

1. Considerando los resultados obtenidos del trabajo expuesto, para alcanzar un mantenimiento predictivo total es necesario que el mismo sistema sea aplicado a todos los equipos del área de Producción.
2. Aplicar el mismo tipo de estudio de durabilidad de los componentes en los montacargas de la empresa, con el fin de aumentar sus horas de operación y buen funcionamiento.
3. Llevar control de los registros de los equipos y un historial de las reparaciones realizadas, para establecer un mejor *stock* de inventario y ejecutar de mejor manera el mantenimiento predictivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASENCIO AGUILAR, Sandra Leticia. *Implementación de un manual de mantenimiento preventivo para la línea de néctares envasado tetra pack*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 95 p.
2. CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. 6a ed. USA: 2013. 1050 p. ISBN 978-970 10-7286-8.
3. FABIÁN GRIJALBA, Walter Reynaldo. *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para una planta de café soluble*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 2003. 94 p.
4. ORREGO CABALLEROS, Edwin Saúl. *Diseño de un sistema de control de calidad para el proceso de impresión de la industria flexográfica base solvente*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 2007. 85 p.
5. TUCUBAL PÉREZ, Mario Alberto. *Implementación de un proceso de calidad en la impresión de empaques flexibles en la industria flexográfica*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 2004. 149 p.

6. VENAGAS USECHE, Libardo. *Transmisión por cadenas, presentación del curso de diseño de máquinas II*. Facultad de Ingeniería, Pereira, Colombia: 2009. 21 p.

7. VIVAS RIVEROS, Zulima. *Estudio de la resistencia al desgaste de películas delgadas de Ti*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Facultad de Ingeniería, Santiago de Cali, Colombia: 1996. 60 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Procedimiento de revisión de trampas de condensado

	Procedimiento de revisión de trampas de condensado	Código
Aprobado por:		Fecha de aprobación: 15/09/2012

8. Propósito

El documento expuesto a continuación busca el llevar la metodología sobre control de las temperaturas de vapor de operación del corrugador, en los elementos de trampas de vapor y serpentines. Con este control se busca poseer en la línea de corrugación de papel, las temperaturas requeridas para la producción de cartón. Con ello se garantiza una buena absorción de temperatura por parte del papel brindando un mejor acabado en el mismo.

9. Alcance

El procedimiento de toma de temperaturas, será aplicable únicamente para las trampas de vapor y los espirales, ubicados en la línea de corrugación, como en las líneas de distribución de vapor.

10. Responsabilidad y autoridad

El jefe de mantenimiento será la autoridad que revisará los resultados finales del control de temperaturas, para poder tomar las acciones correctivas que requiera el procedimiento o la instrumentación antes mencionada. El personal del área de mantenimiento será responsable de darle el seguimiento requerido al análisis de temperaturas, realizando las inspecciones y toma de datos en las fechas establecidas.

11. Descripción de actividades

El análisis de temperaturas es un procedimiento que le brinda calidad al producto terminado en el área de corrugación, puesto que la temperatura del vapor en la línea influye de forma directa en la humedad del papel, dado que esta debe ser la mínima y uniforme a la salida de las planchas en la línea. Para el procedimiento el personal encargado deberá de contar con los siguientes elementos:

- Pistola láser para toma de temperaturas
- Ficha de seguimiento para toma de datos

El control de los datos de temperatura se realizará en un periodo de tiempo semanal. (La línea de corrugación debe de estar en operación para dichas tomas). La toma de medidas se deberá realizar en la entrada y salida si se trata de una trampa de vapor.

La toma de medidas se deberá realizar sobre el elemento cuando se trate de un espiral. Los criterios para nombrar si un elemento está en buen funcionamiento o no, son los siguientes: si se encontraran en buen estado las trampas de vapor que posean una diferencia de temperatura entre la entrada y la salida de las mismas no mayor de 15 °C y que entre ellas no haya una diferencia de 10 °C, puesto que ello significa que las trampas están dañadas.

12. Registros

Para la realización de las lecturas se deberán de llenar la hoja de registros, la cual tendrán la ubicación del elemento, así como los datos a tomar. Estos serán archivados y permanecerán en el área de mantenimiento, los cuales servirán para la toma de decisiones en cuanto a correcciones en el mantenimiento.

13. Anexos

Se anexan los documentos de medición de temperatura de las trampas

Fin del procedimiento

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Procedimiento de medición de vibraciones

	Procedimiento de medición de vibraciones	Código
Aprobado por: Ing. Luis Orozco		Fecha de aprobación: 15/09/2012

1. Objetivos

General

Determinar mediante el monitoreo periódico de los distintos elementos rodantes que conforman los equipos, el tiempo de vida admisible antes de que presenten averías.

Específicos

- Determinar mediante el estudio de vibraciones el rango de vibraciones en el que se encuentran los distintos elementos rodantes.
- Identificar posibles averías en equipos debido a desalineamiento o desbalanceo, mediante el estudio de vibraciones.
- Reducir al mínimo posible las averías inesperadas en rodamientos, chumaceras y ejes.

2. Ejecutores

Los encargados de la ejecución de este procedimiento, serán quienes integren el equipo de mecánicos destinados al cumplimiento del mantenimiento preventivo, en la planta de producción de Empaques San Lucas.

3. Alcance

El análisis y registro de vibraciones está dirigido al monitoreo de todos los elementos rodantes con los que cuentan los distintos equipos de la planta de producción de Empaques San Lucas. Específicamente al estudio de elementos como: rodamientos, ejes, chumaceras, motores, cajas reductoras y *blowers*. El estudio de vibraciones también contendrá un registro de

los mismos, en el cual se estudiará el comportamiento de los distintos elementos, a manera de generar un mantenimiento enfocado a la predicción de averías en equipos.

4. Responsables

Los responsables directos del cumplimiento de este procedimiento son:

- Jefe de Mantenimiento
- Asistente de Mantenimiento
- Jefe de Mecánicos

5. Documentos relacionados

Código	Nombre del documento
	Instructivo de análisis de vibraciones
	Listado de entidades creadas para control
	Manual del equipo
	Registro de control de análisis de vibraciones.

6. Generalidades

El estudio y análisis de vibraciones es un una tarea importante que le brinda al mantenimiento preventivo gran valor, dado que mediante el seguimiento del mismo se puede lograr un monitoreo sobre el estado de los distintos elementos dinámicos que interactúan en los equipos.

7. Responsabilidades del personal de monitoreo y análisis de vibraciones

El personal que realiza el análisis de vibraciones debe de ser responsable de los siguientes lineamientos para el óptico cumplimiento de las labores de mantenimiento.

- El personal debe de comprender e interpretar perfectamente lo descrito en este manual.
- El personal debe de realizar las labores de monitoreo de vibraciones, siguiendo estrictamente la calendarización previamente programada del mismo, que será entregada por el supervisor de mantenimiento.

- El personal es encargado de llevar un registro escrito y digital de las lecturas realizadas en los diversos componentes.
- El personal es encargado de notificar al supervisor de mantenimiento el estado actual de los elementos, específicamente los elementos que se encuentren en rangos de inseguridad para el buen funcionamiento de los equipos.
- El personal debe de llevar una secuencia de desarrollo de las actividades que han tenido los distintos elementos para poder predecir futuras averías.

8. Procedimiento de análisis de vibraciones

- Contar con el quipo apropiado para el análisis de vibraciones.
- Contar con el registro de elementos a analizar en los distintos equipos; en este se anotarán las lecturas realizadas durante cada monitoreo de vibraciones.
- Contar con el instructivo de vibraciones el cual les brindará soporte de los pasos a seguir para el cumplimiento de la función de monitoreo y análisis.
- Realizar las lecturas correspondientes a cada elemento y anotarlas en la ficha de registro.
- Catalogar las lecturas realizadas con base en los rangos de vibración preestablecidos en el instructivo de análisis de vibraciones.
- Reportar al supervisor los elementos que presentan mayor riesgo para el equipo, debido a su deterioro y alto nivel de vibración.

Fin de procedimiento

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Procedimiento para proceso de lubricación de equipos

 EMPAQUES SAN LUCAS, S.A.	Procedimiento para proceso de lubricación de equipos	Código
Aprobado por: Ing. Luis Orozco		Fecha de aprobación: 15/09/2012

1. Objetivos

General

Implementar un mantenimiento preventivo para el mejor desempeño y estado de los equipos.

Específicos

- Reducción del desgaste ocasionado a elementos mecánicos como: ejes, chumaceras, cojinetes y engranes, debido a fricción.
- Análisis de aplicación de los lubricantes para los elementos mecánicos, optimización de la lubricación.
- Predecir futuras averías y/o reparaciones a los elementos mecánicos.

2. Ejecutores

El procedimiento de lubricación está dirigido al personal que presta el servicio de mantenimiento preventivo en la planta de producción de Empaques San Lucas, específicamente a los responsables del funcionamiento de la línea de corrugación.

3. Alcance

El procedimiento de lubricación está diseñado para ser aplicado en todos los equipos de la planta de producción de la empresa Empaques San Lucas S. A.

4. Responsables

- Jefe de Mantenimiento
- Supervisor de mantenimiento
- Mecánicos de Mantenimiento

5. Documentos relacionados

Código	Nombre del documento
	Instructivo de lubricación
	Listado de entidades creadas para control
	Manual del equipo
	Registro de control de lubricación

6. Generalidades

La lubricación es una de las tareas importantes que debe de cubrir el departamento de mantenimiento, puesto que con ello se busca la reducción de averías y optimización de vida útil de elementos de transmisión de potencia y rodantes en equipos, derivado del uso de los mismos. Las responsabilidades del mecánico de lubricación son:

- Revisar que los elementos mecánicos posean la lubricación adecuada.
- Notificar al encargado de mantenimiento el estado de los elementos y/o posibles fallas y deficiencias por lubricación.
- Lubricar los elementos con el lubricante y cantidad adecuada del mismo.
- Dejar limpio y sin exceso de lubricante el área de trabajo.
- Después de la lubricación debe lavarse y desinfectarse las manos para eliminar el residuo de lubricante y contaminación química.

7. Procedimiento

El corrugador está compuesto por segmentos individuales los cuales se denominan trenes; el sistema posee 7 trenes delimitados previamente, en cada uno de los cuales se encuentran identificados los elementos a lubricar. Esta identificación de elementos se encuentra de la siguiente manera; posee un número de registro el cual hace referencia a una ubicación específica dentro de un determinado tren, indicando de igual manera: el tipo de elemento, posición (lado motor/ lado operador), tipo de lubricante a usar, cantidad de lubricante para el elemento, periodicidad de lubricación y metodología para lubricar. Esta información se encuentra en una base de datos de operaciones (listado de entidades creadas como puntos de control) de mantenimiento, la cual se observará en el anexo. Se incluyen registros de reportes,

revisiones y correcciones, tanto de los elementos del sistema como del procedimiento, a manera de poseer un sistema de control de procedimientos.

Tipos de lubricantes:

Para la lubricación de los elementos, el departamento de mantenimiento ha considerado que se deben de utilizar 3 tipos distintos de lubricantes, esto debido a las diferentes condiciones de operación que poseen cada uno de los mismos. Los tipos de lubricantes a utilizar son:

- Grasa Omega-22: la grasa multipropósito Omega 22, es una grasa de desempeño superior de grado NLGI#2 desarrollada con una formulación de un fluido sintético base y un politetrafluoretileno (PTFE) de grado especial como constituyente que asegura las características de rendimiento más promisorias en las condiciones de mayor castigo. La grasa Omega 22 provee una protección duradera y consistente a las partes metálicas en un amplio rango de temperaturas de servicio desde -40 °C hasta 210 °C (-40 °F a 410 °F). Además de brindar una vida útil más larga tanto en bajas como en altas temperaturas. Omega 22 resiste altas cargas y trabaja bajo severas condiciones de cargas de impacto protegiendo contra las fallas en los rodamientos donde las grasas ordinarias fracasan.

Ofrece una protección superior a los metales contra la herrumbre y la corrosión y minimiza el endurecimiento de la grasa causada por la oxidación del aceite en servicios en altas temperaturas.

Nota: la grasa Omega 22 debe de ser manejada por el mecánico de lubricación, con extremo cuidado.

- Grasa multipropósito EP-2: una nueva generación en grasas lubricantes que se distingue por brindar una estabilidad mecánica superior y sobresaliente capacidad para trabajar con cargas extremas. Esto permite un rodar más liberado al reducir notoriamente la fricción. Resiste efectivamente la quemadura y el arrastre del agua, ayuda a prevenir la oxidación y la corrosión. Proporciona un desempeño sobresaliente en aplicaciones a altas y bajas temperaturas. Es repelente al agua y agentes contaminantes. Entre sus propiedades están:
 - Temperatura de penetración a 25 °C
 - Temperatura de inflamación a 249 °C
 - Temperatura de operación en frío 2,3 °C

Precauciones: contiene derivados del petróleo. Evitar el contacto con los ojos y enjuagarse con abundante agua. Piel: lavarse con agua y jabón. Este producto puede ser dañino para la salud si es ingerido. Si esto ocurre no provocar vómito y llamar al médico inmediatamente. Mantenerse fuera del alcance de los niños.

- Grasa multipropósitos NyeCorr 140: la grasa NyeCorr 140 es un lubricante perfluoropoliéter a base de aceite, es un lubricante completamente compatible con otros lubricantes PFPE, en la actualidad es usado en rodamientos los cuales están expuestos a temperaturas elevadas, como calentadores. La viscosidad de NyeCorr 140 es equivalente a la del aceite base ISO 460. Con su alta viscosidad posee alta capacidad de carga.

Color de grasa	Contaminación	Recomendación	Consistencia de grasa
Blanco	Nada	Grasa en buena condición	
Gris	0,0 - 0,1 % hierro	Buena condición, uso normal de cojinete.	
Bronceado	0,1 - 0,4 % hierro	Agregar grasa al cojinete.	
Café	0,4 – 0,8 % hierro	Engrasar el cojinete y revisarlo por exceso de uso.	
Café oscuro	0,8 % - mayor	Revisar vibración y ruido de cojinete, puede que no esté bien y necesite cambio.	
Negro		Reemplazar el cojinete.	

Fin de procedimiento

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Instructivo para medición de amperaje

 <p>Instructivo para medición de amperaje</p>	Código
Aprobado por: Ing. Luis Orozco	Fecha de aprobación: 15/09/2012

1. Objetivo

Mejorar las prácticas para la realización de la toma de amperajes y análisis de los mismos a los consumos que realizan los motores eléctricos de los equipos, buscando detectar posibles averías en los mismos, como los consumos excesivos derivados de una contracorriente, fallo en el devanado, problemas mecánicos, entre otros.

2. Alcance

Este procedimiento será aplicado y tendrá como cobertura todos los motores que se encuentran en operación en la planta de producción de Empaques San Lucas. Dado que los mismos representan el mayor consumo energético dentro de la planta, y son de vital importancia ya que participan de una forma directa y activa en el proceso de producción.

3. Responsabilidad y autoridades

Responsabilidad del personal de mantenimiento:

- Los encargados de la ejecución del mantenimiento preventivo, asignados según experiencia, son los responsables de la ejecución de la rutina de toma de amperajes.
- Es responsabilidad de los asignados de realizar la rutina de mantenimiento a todos los motores de los equipos sin excepción, según calendarización programada. Serán responsables del control en cuanto a los consumos individuales de los equipos, así como también de avisar y marcar los motores que estén presentando anomalías en las lecturas.

- El asistente de mantenimiento preventivo es el encargado de los valores recogidos por el personal de las rutinas preventivas de mantenimiento, así como de darle seguimiento a los equipos que presentan fallas o anomalías en sus consumos.

4. Autoridades

El responsable directo de velar por la ejecución y control del mantenimiento preventivo será el supervisor de mantenimiento, quien tendrá la responsabilidad de velar porque se cumpla con las rutinas, siguiendo el procedimiento adecuado y en las fechas programadas. El ingeniero en jefe del departamento de mantenimiento y el jefe de electromecánicos, serán los responsables de verificar que se estén cumpliendo las rutinas de mantenimiento en análisis energético. Así como de velar por el seguimiento de los equipos que presenten anomalías en las mismas o necesiten trabajos correctivos.

5. Descripción de actividades

El análisis de amperajes le brindará al proceso de mantenimiento preventivo y predictivo una mayor calidad, de igual manera busca conservar el servicio prestado por los equipos durante más tiempo, reduciendo en la medida de lo posible paros inesperados en los mismos. Para cumplir con tales objetivos, la toma y análisis de amperajes se debe de realizar con base en los lineamientos siguientes:

- A cada colaborador del mantenimiento preventivo se le brindará un formulario para el mantenimiento del mismo, el cual contendrá el nombre del equipo y los elementos a analizar con sus respectivos amperajes de placa.
- El personal encargado deberá de realizar las lecturas de los amperajes en dichos motores, utilizando para ello un amperímetro, en el cual se tomarán los voltajes máximos que consume el motor.
- En el formulario brindado a cada colaborador del mantenimiento preventivo, se deberán colocar los amperajes encontrados en cada elemento, clasificándolos en el rango en el que se encuentran los mismos.

- En el caso de que un elemento no posea placa para realizar la comparativa de consumos de amperajes se deberán realizar los siguientes pasos:
 - Realizar la toma del voltaje (V_{max}/V_D) y amperaje (C_{max}/C_D) del mismo, a plena carga de operación.
 - Utilizando la siguiente ecuación se realiza el cálculo de la potencia de equipo:

$$P = I * V = \frac{\text{watts}}{1000} = Kw$$

P = potencia

V = voltaje

I = Corriente

- Seguidamente de esto, se debe convertir dicha potencia (KW) a (PH) de la siguiente manera:

$$1 \text{ HP} = 0.7456999 \text{ KW}$$

$$P = KW * (0.7456999) = \text{HP}$$

- Una vez obtenido el cálculo de la potencia consumida por el motor, se consulta la siguiente tabla, en donde ubicará el motor por la potencia utilizada, la cual indicará cuáles serán los valores de amperajes que debe de poseer dicho motor. Los mismos servirán de referencia comparativa para poder catalogar el rango en el que se encuentran los valores del mismo.
- Durante la realización de la toma de amperajes el supervisor será el responsable de verificar que se estén siguiendo los lineamientos indicados para la realización del mismo, verificando aleatoriamente puntos importantes y realizando tomas de medidas del mismo y comparándolas con las ejecutadas.

6. Registros

Para la elaboración de la rutina de análisis de amperajes los colaboradores contarán con un formulario específico para cada equipo a analizar, el cual contendrá los datos del equipo, así como los distintos motores que contiene y los amperajes de placa respectivos.

7. Amperajes en motores eléctricos debido a su potencia

POTENCIA		CORRIENTE MONOFASICA									CORRIENTE TRIFASICA								
		115V			208V			230V			208V			230V			460V		
H.P.	KW	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER
1/6	0.12	4.4	8	16	2.4	4	6	2.2	4	6									
1/4	0.19	5.8	10	16	3.2	6	8	2.9	6	10									
1/3	0.25	7.2	16	20	4	8	10	3.6	8	10									
1/2	0.37	9.8	20	25	5.4	10	16	4.9	10	16	2.4	4	6	2.2	4	6	1.1	2	4
3/4	0.56	13.8	25	40	7.6	16	20	6.9	16	20	3.5	6	10	3.2	6	10	1.6	4	4
1	0.75	16	32	40	8.8	16	25	8	16	20	4.6	8	16	4.2	8	10	2.1	4	6
1.5	1.12	20	40	50	11	20	32	10	20	25	6.6	16	16	6	10	16	3	6	10
2	1.49	24	50	63	13.2	25	32	12	25	32	7.5	16	20	6.8	16	20	3.4	6	10
3	2.24	34	63	82	18.7	32	50	17	32	40	10.6	20	25	9.6	20	25	4.8	8	16
5	3.73	56	100	150	30.8	63	82	28	50	82	16.7	32	40	15.2	32	40	7.6	16	20
7.5	5.60	80	160	200	44	80	125	40	80	100	24.2	40	63	22	40	63	11	20	32
10	7.46	100	200	250	55	100	150	50	100	125	30.8	50	80	28	50	80	14	25	40
15	11.2	131	250	350	72	125	200	65.7	125	175	46.2	80	125	42	80	125	21	40	63
20	14.9										59.4	100	150	54	100	150	27	50	82
25	18.7										74.8	160	200	68	125	175	34	63	100
30	22.4										88	160	225	80	160	200	40	80	100
40	29.8										114	200	300	104	200	300	52	100	150
50	37.3										143	250	400	130	250	300	65	125	175
60	44.8										169	315	500	154	315	400	77	160	200
75	56.0										211	400	630	192	400	500	96	200	250
100	74.6										273	500	800	248	500	630	124	250	300
125	93.3										343	600	1000	312	630	800	156	315	400
150	112										396	800	1000	360	630	1000	180	315	500
200	149										528	1000	1500	480	1000	1200	240	500	600
250	187																302	630	800
300	224																361	630	1000
350	261																414	800	1000
400	298																477	1000	1200
450	336																515	1000	1600
500	373																590	1000	1600

Fin del procedimiento

Fuente: elaboración propia.

