

INSTITUTO TECNÓLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



PROYECTOS:

“Estudio de la red de distribución de aire comprimido”

“Sistema de Mantenimiento Predictivo”

**Informe de Práctica de Especialidad para optar por el grado
Licenciado en Ingeniería en Mantenimiento Industrial**

Oscar Andrés Obando Mata

Cartago, Junio del 2006

INFORME DE PRÁCTICA DE ESPECIALIDAD

Proyectos:

1. Estudio de la red de distribución de aire comprimido
2. Sistema de Mantenimiento Predictivo

Profesor Asesor: Ing. Manuel Centeno

Asesor Industrial: Ing. Arnoldo Zamora Ríos

Dedicatoria

A mis padres y hermanos por su apoyo durante mis años de estudio.

A todos aquellos que me han apoyado incondicionalmente en todos los momentos de mi vida.

... Y a la memoria de mi gran amigo Fabián.

Agradecimientos:

Quiero agradecer a Dios por ser mi guía y mi luz durante este gran recorrido.

A toda mi familia y amigos que de alguna manera me apoyaron durante el desarrollo de mi práctica.

Al Ing. Guillermo Salazar Soto, Gerente Industrial Corporativo, por brindarme la oportunidad de realizar la práctica en esta empresa.

Al Gerente de Producción, el Ing. Arnoldo Zamora Ríos, mi asesor industrial, por su orientación, consejos y sugerencias.

Al Jefe de Mantenimiento, el Ing. Luis Carlos Rodríguez Coronado, por sus consejos y apoyo durante la realización de mi práctica.

A los señores Martín Brenes Solano y Carlos Rojas Ávila, por el tiempo brindado y por responder a todas mis consultas.

En general, a todo el personal del Departamento de Mantenimiento por su amistad y colaboración.

Muchas Gracias

Tabla de contenidos

	<u>Página</u>
Resumen.....	10
Abstract.....	11
1 Introducción.....	12
1.1 Descripción de la empresa.....	13
1.1.1 Política de calidad.....	13
1.1.2 Antecedentes históricos.....	13
1.1.3 Ubicación geográfica.....	13
1.1.4 Organización.....	14
1.1.5 Número de empleados.....	14
1.1.6 Mercado de exportación.....	15
1.2 Proceso Productivo.....	15
1.2.1 Materia prima.....	15
1.2.2 Suministros utilizados.....	18
1.2.3 Proceso de corrugación.....	18
1.2.4 Proceso de clisés.....	25
1.2.5 Proceso de impresión, troquelado y hendido.....	26
1.3 Procedimiento General para Mantenimiento de Maquinaria, Equipo e instalaciones..	33
1.3.1 Propósito.....	33
1.3.2 Alcance.....	34
1.3.3 Responsables.....	34
1.3.4 Descripción del procedimiento.....	34
2 Estudio de la red de distribución de aire comprimido.....	39
2.1 Introducción.....	40
2.2 Definición del problema o necesidad.....	41
2.3 Objetivos Generales.....	42
2.4 Metodología o procedimiento a seguir.....	42
2.5 Levantamiento de los planos de la distribución de tuberías de aire a alta presión.....	43

2.6	Análisis de las partes del sistema de aire comprimido	47
2.6.1	Compresores	47
2.6.2	Sistema de almacenamiento y equipo de tratamiento del aire	51
2.6.3	Análisis de las tuberías de la red.....	54
2.7	Análisis de los equipos y maquinaria alimentados con aire comprimido.....	62
2.7.1	Área de Talleres	62
2.7.2	Área de Embaladora.....	63
2.7.3	Área de corrugación.....	63
2.7.4	Área de Imprentas.....	65
2.7.5	Bodega de producto terminado y despacho de piña	67
2.8	Cálculo de caídas de presión en las líneas	68
2.8.1	Pérdidas de presión	68
2.8.2	Pérdidas por fugas.....	72
2.9	Determinación de consumo de aire en la planta	76
2.9.1	Cálculo de consumo de aire en acoples para limpieza.....	77
2.10	Conclusiones y recomendaciones	82
3	Sistema de Mantenimiento Predictivo	86
3.1	Introducción.....	87
3.2	Objetivos.....	89
3.2.1	Objetivo General.....	89
3.2.2	Objetivos específicos	89
3.3	Definición del problema	89
3.4	Metodología de trabajo	90
3.5	Elaboración del Programa de Mantenimiento Predictivo	91
3.5.1	Pasos seguidos para la elaboración de PMP	91
3.6	Parámetros a medir en motores eléctricos para la obtención de tendencias	108
3.6.1	Causas de fallas en motores eléctricos.....	108
3.6.2	Tareas de Mantenimiento Preventivo-Predictivo a motores eléctricos	113
3.7	Implementación del Sistema de Mantenimiento Preventivo-Predictivo.....	120
3.7.1	Sistema de Codificación	120

3.7.2	Localización de fallas	123
3.7.3	Recopilación de lecturas	127
3.7.4	Conclusiones y recomendaciones	128
	Bibliografía	130
	Anexos	132
Anexo 1.	Estructura Organizativa.....	133
Anexo 2.	Transformación de la materia prima	134
Anexo 3.	Unidad Corrugadora.....	135
Anexo 4.	Documentación del Departamento de Mantenimiento.....	136
Anexo 5.	Variación de la presión atmosférica con la altitud	138
Anexo 6.	Tratamiento del aire comprimido.....	139
Anexo 7.	Tabla para conversión de unidades	148
Anexo 8.	Diámetros de tubería de cobre.....	152
Anexo 9.	Tabla para el cálculo de gasto en sopladores	153
Anexo 10.	Mantenimiento Predictivo.....	154
Anexo 11.	MegOhmMetro FLUKE 1550B	167
Anexo 12.	Propuesta de ficha técnica para motores eléctricos.....	168
Anexo 13.	Documento propuesto para recopilación de lecturas	169

Índice de figuras

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
Figura 1-1 Preacondicionador.....	19
Figura 1-2 <i>Medium</i> enhebrado.....	20
Figura 1-3 Flauta Modelo XD.....	21
Figura 1-4 Formación de flautas en el <i>medium</i>	21
Figura 1-5 Aplicación de adhesivo.....	22
Figura 1-6 Tamaños de flauta.....	23
Figura 1-7 Adhesión del <i>medium</i> con el primer <i>liner</i>	24
Figura 1-8 <i>Double backer</i>	25
Figura 1-9 Fabricación de embalaje.....	26
Figura 1-10 <i>Ward 66</i>	28
Figura 1-11 <i>Pallet Staging</i>	29
Figura 1-12 Troqueladora <i>Ward</i>	29
Figura 1-13 Saturno 50.....	30
Figura 1-14 Saturno III.....	30
Figura 1-15 Curioni 3600.....	31
Figura 1-16 Turbinas Área Embaladora.....	31
Figura 1-17 Parafinadoras.....	32
Figura 1-18 <i>Sticher</i>	32
Figura 1-19 Organigrama del Departamento de Mantenimiento.....	33
Figura 2-1 Distribución de salidas de aire por áreas de proceso.....	46
Figura 2-2 Compresores.....	48
Figura 2-3 Limpieza de radiador del compresor de 75 HP.....	50
Figura 2-4 Sistema de almacenamiento.....	51
Figura 2-5 Caso especial de instalación del secador.....	53
Figura 2-6 Instalación de secador y acumulador en Corrugados del Guarco S.A.....	53
Figura 2-7 Equipos de tratamiento del aire.....	54
Figura 2-8 Tuberías sin codificación de colores en el Área de Corrugación.....	64

Figura 2-9 Problemas de codificación de tuberías en Área de Imprentas	67
Figura 2-10 Porcentaje de pérdida de presión en medida real en cada salida de aire.....	72
Figura 2-11 Medición de fugas de aire en la red	74
Figura 3-1 Falta de pernos en base de Turbina 4.....	110

Índice de tablas

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
Tabla 1.1 Especificaciones del <i>Ring Crush Test</i> para Papel.....	16
Tabla 1.2 Especificaciones del Contenido de Humedad para papel	17
Tabla 1.3 Especificaciones de Gramaje para papel	17
Tabla 1.4 Especificaciones de calibre de Papel	17
Tabla 2.1 Detalle de salidas de la Red de Distribución de Aire Comprimido	44
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de compresores.....	48
Tabla 2.3 Especificaciones de tubería actual	57
Tabla 2.4 Velocidades máximas en tipo de tuberías.....	58
Tabla 2.5 Código de colores para sistema de tuberías	60
Tabla 2.6 Especificaciones para la codificación de tuberías	61
Tabla 2.7 Pérdidas de presión en tuberías medidas en el campo	70
Tabla 2.8 Costo por año del aire fugado.....	73
Tabla 2.9 Tiempos obtenidos en medición de fugas.....	75
Tabla 2.10 Cálculo de consumo en los puntos de limpieza.....	79
Tabla 3.1 Levantamiento de motores eléctricos	93
Tabla 3.2 Causas principales de mal funcionamiento en motores eléctricos.....	112
Tabla 3.3 Datos a analizar en motores eléctricos según el PMP	121
Tabla 3.4 Análisis de criticidad utilizado para la selección de los motores del PMP	123
Tabla 3.5 Guía de localización de fallas en motores eléctricos	124

RESUMEN

El contenido del presente Informe Final de Práctica de Especialidad es la descripción de dos proyectos: uno en el área de Diseño de la Ingeniería y otro en el área de Gestión de Mantenimiento Industrial realizados en la empresa Corrugados del Guarco S.A.

Estudio a la Red de Distribución de Aire Comprimido

Por ser una industria que produce cajas de cartón corrugado, en su mayoría las máquinas involucradas en este proceso son neumáticas. El uso del aire comprimido es fundamental para esta planta. Se han venido presentando ciertos problemas en el Área de Impresión debido a que cuando varias salidas de aire para limpieza trabajan simultáneamente en el Área de Corrugación (área más cercana al Cuarto de Compresores), se percibe una caída de presión considerable en las impresoras lo cual afecta a todo el proceso productivo. El Departamento de Mantenimiento, está valorando la posibilidad de instalar una nueva red por lo que es necesaria una valoración de la red de distribución actual, para luego tomar las correcciones necesarias. En este informe se describirá el desarrollo del análisis realizado y se expondrán las conclusiones y recomendaciones del caso.

Sistema de Mantenimiento Predictivo

La empresa siente la necesidad de llevar su Gestión de Mantenimiento mas allá del Mantenimiento Preventivo por lo que desean implementar un Sistema de Mantenimiento Predictivo-Preventivo. Éste sistema será enfocado principalmente a motores eléctricos con la utilización de diferentes técnicas de análisis y monitoreo de las condiciones. Al final del proyecto se espera implantar un Programa de Mantenimiento Predictivo-Preventivo a motores eléctricos.

Palabras Claves:

Aire Comprimido, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Predictivo, Corrugación, Impresión.

ABSTRACT

The content of the present formal report is the description of two projects done at Corrugados del Guarco S.A. The first project's theme was on the Engineering Design Area and in the other one on Maintenance Management.

Air Compressed System Analysis

This project was done in a Corrugated boxing Plant. Most of the machines in this industry need air to operate. The usage of a efficient compressed air system is required for this factory. They have been having some problems at the Printing Area due the low air pressure. This problem happens when several air outlets work at the same time at the Corrugating line (closest area to the Compressor's Room). The Maintenance Department wants to change the old system into a new design but they need to evaluate the existent system. With the following analysis they will have an evaluation of the actual air compressed net in order give a solution of the pressure problem.

Predictive Maintenance System

The Maintenance Department feels the necessity to bring its Maintenance Management to a next level so they want to implement a Predictive Maintenance System. This new system will be focus on electrical motors at the beginning. The purpose of this project is to define a new program based on electrical tendencies in order to increase reliability and uptime of equipment, machine tools, automation controls, hydraulics used in this corrugated boxing industry.

Key Words

Air Compressed System, Preventive Maintenance, Predictive Maintenance, Corrugating, Printing

1 Introducción

1.1 Descripción de la empresa

1.1.1 Política de calidad

Diseñar y fabricar empaques de cartón corrugado, brindando servicios a sus clientes, satisfaciendo los requisitos en forma rentable y mejorando continuamente la eficacia del sistema de gestión de la calidad, sus procesos y el desarrollo integral del personal.

1.1.2 Antecedentes históricos

El surgimiento de la agroindustria en el país, fomentó la expansión de muchas actividades agrícolas, comerciales e industriales y con ello nace la necesidad de crear en el país una planta de corrugación, que supla los empaques de cartón a un precio mejor, y en un menor tiempo de entrega.

Corrugados del Guarco S.A., se fundó en 1981, sus operaciones productivas empiezan el 23 de agosto de 1983, con el objetivo de proveer los empaques para la producción exportable de PINDECO. Paulatinamente el mercado se expande, debido a las ventas de productos al mercado local y otras exportaciones.

1.1.3 Ubicación geográfica

La empresa Corrugados del Guarco S.A., se encuentra situada en el cantón de El Guarco, propiamente en el Parque Industrial Zeta.

1.1.4 Organización

La empresa cuenta con una organización desde sus inicios comandada por una junta directiva que se encarga de tomar las decisiones sobre el manejo de la empresa. Luego de la junta directiva se encuentra la gerencia general y de ahí para abajo se divide los diferentes departamentos con sus colaboradores. La estructura organizativa de la empresa puede observarse el en Anexo 1.

1.1.5 Número de empleados

Hasta el día de hoy la empresa cuenta con 194 empleados, de los cuales 160 trabajan en el área de producción y 34 laboran en el área administrativa. Se cuenta con servicios de soda comedor, médico de empresa, sindicato y Cooperativa.

Los turnos de trabajo en la empresa son:

- a. *Administrativos*: de lunes a viernes de 7:30 de la mañana a 5:00 de la tarde
- b. *Operadores del corrugador*: los turnos pueden variar de acuerdo con la producción, de lunes a viernes de 6:00 de la mañana a 2:00 de la tarde y de 2:00 de la tarde a 10:00 de la noche, o de 6:00 de la mañana a 4:00 de la tarde y de 4:00 de la tarde a 2:00 de la mañana.
- c. *Operadores de las impresoras*: los turnos pueden variar de acuerdo con la producción, de lunes a viernes de 6:00 de la mañana a 4:00 de la tarde y de 4:00 de la tarde a 2:00 de la mañana, o de 6:00 de la mañana a 6:00 de la tarde y de 6:00 de la tarde a 6:00 de la mañana.
- d. *Personal de Mantenimiento*: de 6:00 de la mañana a 6:00 de la tarde y de 6:00 de la tarde a 6:00 de la mañana.

1.1.6 Mercado de exportación

La empresa abarca un extenso mercado: industrial, agrícola y comercial. Corrugados del Guarco S.A., vino a llenar las necesidades de la industria local y del sector exportable costarricense, al brindar un empaque de alta calidad, logrando así que las empresas exporten al mercado un producto en un empaque adecuado y competitivo.

1.2 Proceso Productivo

Corrugados del Guarco S.A., es una empresa que se dedica a la fabricación de cajas de cartón corrugado. En esta se llevan a cabo dos procesos: la corrugación del cartón y la impresión de éste. Ver Anexo 2 para una descripción detallada del proceso.

1.2.1 Materia prima

La materia prima que se utiliza es el papel *liner* y el papel *medium*, ambos se extraen de árboles de coníferas.

El *liner* es un papel grueso, resistente de fibras largas y suaves de coníferas, de buena calidad debido a la pureza de la pulpa que se utiliza en su fabricación. Su uso es para las paredes exteriores del cartón.

El *medium* es más delgado, menos resistente de fibras de coníferas cortas y duras. Se utiliza para la pared corrugada interior del cartón. Es poco resistente, pero una vez corrugado le da resistencia al cartón, actúa como aislante de golpes y no transfiere calor. Puede venir en

color natural, al cual se le conoce como *Kraft*, o con un recubrimiento de color. Asimismo durante el proceso de corrugación se le puede dar un recubrimiento con diferentes colores, esto depende de las especificaciones de cada cliente.

Su presentación es en bobinas (rollos) de aproximadamente 2.5 toneladas de peso y cuyo ancho oscila entre 69 a 87 pulgadas. Cada bobina tiene una cantidad promedio de 7900 metros de papel (24000 pies lineales) y es importado de tres proveedores: *Georgia Pacific*, *Smurfit*, e *International Paper*.

El papel se identifica por su resistencia y su gramaje. A cada tipo de papel¹ se le realizan diferentes pruebas de calidad. Estas son: *Ring Crush Test*; ésta es una prueba que mide la fuerza necesaria para reventar los papeles en un área de una pulgada cuadrada, contenido de humedad, que como lo dice su nombre, la prueba indica el máximo y mínimo porcentaje de humedad que debe tener el papel. Otra medición realizada al papel es el gramaje. Esta prueba se utiliza para verificar el peso del papel que se mide en unidades de libras por cada mil pulgadas cuadradas. Por último se debe medir el calibre al papel. Ver tablas 1-1, 1-2, 1-3 y 1-4 para las especificaciones de cada una de las pruebas.

Tabla 1.1 Especificaciones del *Ring Crush Test* para Papel

<i>RING CRUSH TEST</i>			
PAPEL LINER		PAPEL MEDIUM	
RESISTENCIA	<i>RING CRUSH</i>	RESISTENCIA	<i>RING CRUSH</i>
26 Libras	27	23 Libras	23
35 Libras	54	26 GP Libras	40
42 Libras	60	26 SA Libras	40
42 Libras W	57	30 Libras	50
47 Libras	65	33 Libras	60
57 Libras W	100	40 Libras	65
61 Libras	93		
69 Libras	108		
55 USP 120	120		
85 USP 170	170		

¹ Tipos de papel: liner y medium

Tabla 1.2 Especificaciones del Contenido de Humedad para papel

% DE HUMEDAD					
PAPEL <i>LINER</i>			PAPEL <i>MEDIUM</i>		
RESISTENCIA	MIN	MAX	RESISTENCIA	MÍN	MÁX
26 Libras	6	9.8	23 Libras	6	9.8
35 Libras	6	9.8	26 GP Libras	6	9.8
42 Libras	6	9.8	26 SA Libras	6	9.8
42 Libras W	6	9.8	30 Libras	6	10
47 Libras	6	9.8	33 Libras	6	10
57 Libras W	6	9.8	40 Libras	6	10
61 Libras	6	9.8		6	
69 Libras	6	9.8		6	
55 USP 120	6	9.8		6	
85 USP 170	6	9.8		6	

Tabla 1.3 Especificaciones de Gramaje para papel

GRAMAJE DE PAPEL			
<i>LINER</i>		<i>MEDIUM</i>	
RESISTENCIA	(milspulg²) MÍNIMO	RESISTENCIA	(milspulg²) MÍNIMO
26 Libras	121	23 Libras	111
35 Libras	171	26 GP Libras	121
42 Libras	195	26 SA Libras	119
42 Libras W	195	30 Libras	139
47 Libras	210	33 Libras	153
57 Libras W	259	40 Libras	171
61 Libras	278		
69 Libras	320		
55 USP 120	255		
85 USP 170	380		

Tabla 1.4 Especificaciones de calibre de Papel

CALIBRE DE PAPEL			
<i>LINER</i>		<i>MEDIUM</i>	
RESISTENCIA	(mils/pulg²) MÍNIMO	RESISTENCIA	(mils/pulg²) MÍNIMO
26 Libras	5.75	23 Libras	8.24
35 Libras	10.29	26 GP Libras	7.07
42 Libras	10.27	26 SA Libras	6.27
42 Libras W	9.41	30 Libras	7.94
47 Libras	13.00	33 Libras	8.49
57 Libras W	10.64	40 Libras	14.56
61 Libras	16.00		
69 Libras	16.22		
55 USP 120	11.70		
85 USP 170	24.14		

1.2.2 Suministros utilizados

Los suministros corresponden a las gomas utilizadas para pegar el cartón, éstas son elaboradas en el Cuarto de Gomas. Se preparan dos tipos de goma: goma para empaques nacionales y gomas resistentes al agua.

La goma nacional se compone de agua, almidón perla, soda cáustica y bórax. La goma resistente al agua además de los ingredientes mencionados posee un aditivo resistente al agua.

La goma se prepara en dos tanques, el primario y el secundario y es bombeado luego al tanque de almacenamiento que tiene una capacidad de 2000 galones. De este tanque la goma es trasegada por medio de bombeo a un tanque dosificador, el cual abastece al corrugador de goma. La importancia de tener un tanque dosificador cerca del corrugador es que aquí mismo se le aplican los aditivos resistentes al agua; y la recirculación de la goma es menor que si tuviera que devolverse al tanque principal, por lo que la viscosidad de la goma se mantiene constante.

Otros suministros son la cinta engomada, grapas para pegar las cajas, tintas a base de agua de diferentes colores, parafina, resina, recubrimiento.

1.2.3 Proceso de corrugación

El proceso productivo empieza en la línea de corrugación, que se encarga de transformar el *liner*, y el *medium* en láminas de cartón de diferentes tamaños, según el tipo de caja que se quiera producir. En el Anexo 3 se tiene el diagrama de una unidad corrugadora en dirección

izquierda (LHPC²). El sentido del corrugador lo establece la dirección de entrada del papel *medium*.

En la primera sección de la línea, el papel *medium* es desembobinado y pasado a través del preconditionador (ver Figura 1.1). Esta unidad está localizada entre el portarrollos y la flauta y prepara al *medium* antes de ser ingresado a la flauta.

El preconditionador tiene varias funciones vitales:

1. Acondiciona el *medium*.
2. Eleva la temperatura del *medium*.
3. Permite control visual de la tensión en el *medium*.
4. Sirve como un mecanismo alimentador de *medium* a la flauta.

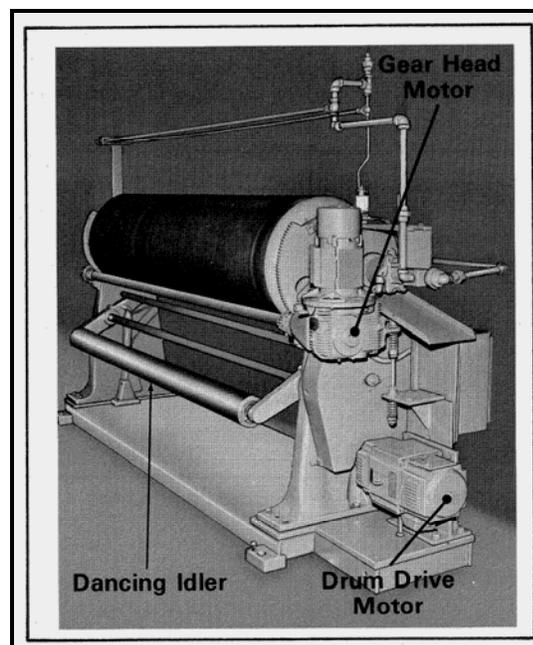


Figura 1-1 Preacondicionador

² LHPC: *Left Handing Paper Coming*

En el preacondicionador, el *medium* es enhebrado en un rodillo envolvente ajustable, sobre una fila de boquillas de vapor, sobre el tambor caliente, luego abajo del rodillo bailador y hacia la flauta (Figura 1.2).

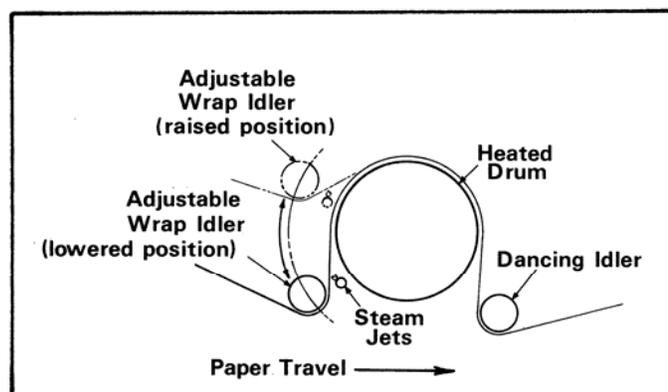


Figura 1-2 *Medium* enhebrado

Por otro lado el papel *liner* es desembobinado y enrollado a través del rodillo precalentador (*preheater*), el cual le da ciertas características al papel para su tratamiento.

Todos los componentes combinados forman la unidad corrugadora pero la unidad más importante son las Flautas (Figura 1.3). Es aquí donde las corrugaciones³ del papel son formadas y pegadas al *liner*. Todas las otras máquinas que forman la unidad corrugadora pueden estar funcionando perfectamente, pero si alguna de las flautas no está produciendo una buena pared sencilla entonces es imposible hacer buen cartón.

³ Corrugaciones: son conocidas como flautas

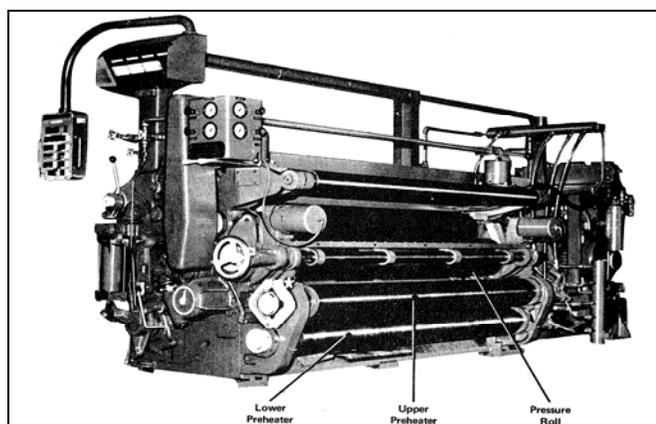


Figura 1-3 Flauta Modelo XD

Para asegurarse una buena entrada del papel a la flauta, el *medium* pasa por debajo del arco expansor ajustable, sobre el primer rodillo alimentador y por debajo del segundo rodillo alimentador. Luego pasa sobre el sistema de aspersion de vapor *Gaylord*, el cual calienta y humedece la superficie inferior del *medium*, mientras que la aspersion de arriba humedece la superficie superior. El *medium* es calentado y humedecido para que las corrugaciones puedan ser formadas.

Después de aplicarle el vapor, el *medium* pasa sobre el rodillo corrugador superior y hacia la ranura formada entre el rodillo superior e inferior donde las flautas son formadas con la aplicación de calor y presión (Figura 1.4)

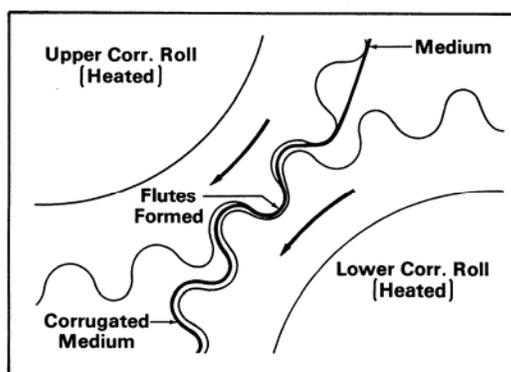


Figura 1-4 Formación de flautas en el *médium*

Las nuevas flautas formadas son despojadas desde la cresta de los rodillos corrugadores por unos dedos y guiadas alrededor del rodillo corrugador inferior. Estos dedos confinan el *medium* corrugado a las flautas del rodillo corrugador mientras el rodillo aplicador de adhesivo aplica goma a las crestas de las flautas formadas (Figura 1.5).

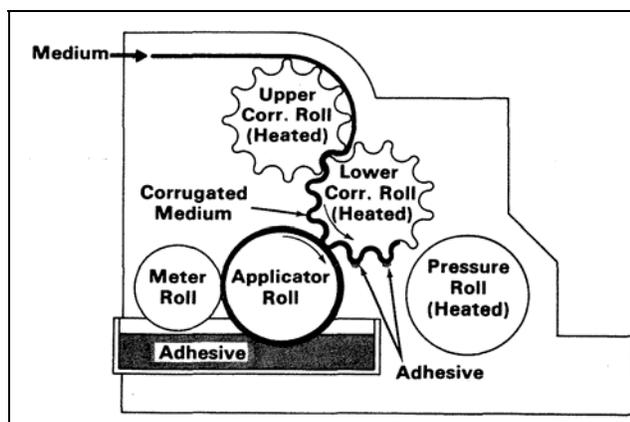


Figura 1-5 Aplicación de adhesivo

Entre otras funciones se tiene:

1. despojar el *medium* corrugado del rodillo corrugador
2. confinar el *medium* corrugado en las flautas del rodillo corrugador inferior
3. controlar el *medium* corrugado mientras el adhesivo es aplicado a la flauta
4. dar una entrada apropiada del *medium* corrugado hacia la cresta del rodillo corrugador y del rodillo de presión donde el *liner* es aplicado.

Los dedos juegan un papel muy importante en la producción del cartón de cara sencilla. Un mal ajuste, dedos sucios o desgastados, pueden contribuir a ciertos defectos en el cartón.

Existe un número de dedos espaciados a lo ancho de la Flauta. El espaciado es determinado por el tipo de flauta. Existen cuatro flautas estándar, A B, C y E (Figura 1.6).

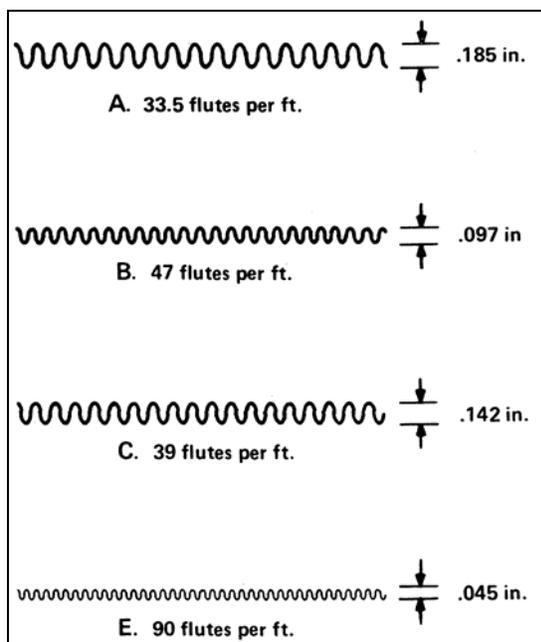


Figura 1-6 Tamaños de flauta

La flauta A es la más alta y tiene la mayor capacidad de acolchonamiento. La Flauta B es la mas baja entre las flautas A y C y tiene la menor capacidad de acolchonamiento. Flauta C es un intermedio entre la A y la B y es la más usada en la industria. Este tipo de flauta tiene una mayor capacidad de acolchonamiento que Flauta B pero no tanto como Flauta A. Flauta E es usada para empaques frágiles, como bombillos, cristalería, etc.

Volviendo al recorrido del papel, después de que el *liner* de cara sencilla pasa alrededor de los dos rodillos precalentadores, el rodillo de presión, el cual se encuentra a cierta temperatura, presiona al *medium* corrugado formando el corrugado por una cara⁴ (Figura 1.7).

⁴Corrugado por una cara: primer liner pegado al medium corrugado

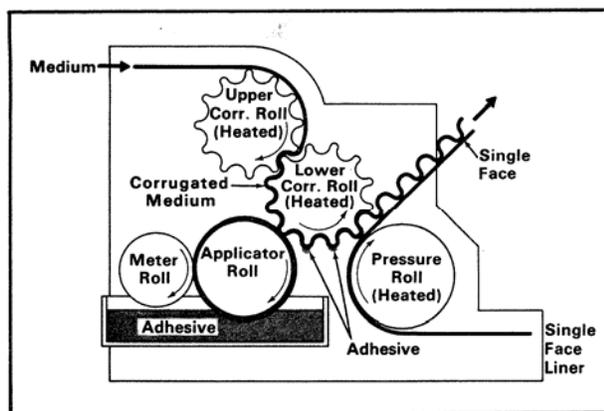


Figura 1-7 Adhesión del *medium* con el primer *liner*

El corrugado de cara sencilla formado pasa alrededor un rodillo enhebrador, luego hacia un *conveyor* vertical y finalmente a un puente horizontal. Este puente sirve como almacenamiento intermedio para que el corrugado por una cara, sea poco a poco jalado y así evitar que éste se reviente. Al final del puente se encuentran las guías del freno las cuales alinean el corrugado por una cara para luego ser llevado a la Máquina de Goma. En esta sección se aplica goma a las crestas del *medium* corrugado; luego es pasado junto con el segundo *liner*, al *Double Backer* (ver Figura 1.8).

Esta sección está ubicada entre la máquina de goma y el *Razor Set*. El corrugado de cara sencilla con el adhesivo aplicado y un segundo *liner* en la parte inferior ingresan al *Double Backer* donde son puestos en contacto para pegarlos y finalmente secarlos. Después de un contacto inicial entre el corrugado de cara sencilla y el *liner* secundario, el cartón se mueve a través de una zona en la cual se aplica calor y presión. Esta sección es conocida como *Hot Foot*. El calor aplicado endurece la goma aplicada y elimina la humedad. La presión esparce el exceso de adhesivo y controla el movimiento entre el *liner* y el corrugado de cara sencilla hasta que exista un buen pegado.

Para evitar que el cartón sufra un sobrecalentamiento cuando la máquina está detenida, el cartón es levantado y puesto fuera de contacto con la superficie caliente durante la parada y luego es puesto en posición normal cuando la máquina inicia de nuevo.

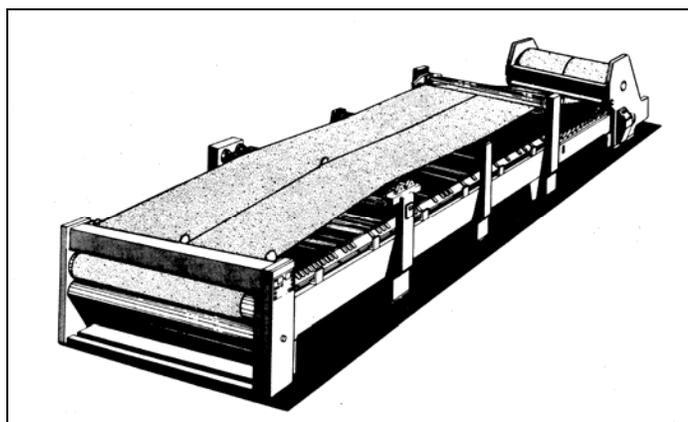


Figura 1-8 *Double backer*

Una vez que la lámina de cartón ha sido secada, se inicia el proceso mecánico para darle forma al cartón. Esto se hace por medio del conjunto de cuchillas hendedoras y cortadoras o más conocido como el *Razor Set*. Este *set* de cuchillas realiza los cortes y rayados longitudinales al ancho requerido. Luego el cartón cortado es desviado y pasado a través de la cuchilla transversal, la cual corta el cartón al largo deseado y finalmente las piezas de cartón se desvían a las mesas de entrega, ahí son apiladas y puestas en tarimas para ser transportadas hacia el Área de Impresión.

1.2.4 Proceso de clisés

En el departamento de clisés se preparan los paños⁵. ARPINSA es la empresa encargada de realizar el arte y de fabricar los clisés. El cliente presenta un boceto preliminar del diseño deseado, del cual se elaborarán prototipos, que son discutidos por ambas partes para

⁵ Paños: sellos con el logotipo de los diferentes clientes.

finalmente escoger uno de ellos. El cliché consta de una lámina de polímero con alto relieve, éste posee el logotipo, el texto y el dibujo especificado por el cliente para cada caja. Este sello se ajusta a un sistema rotativo en un módulo dentro de la impresora, con el fin de que se imprima la caja con el logotipo del cliente y con los colores especificados.

1.2.5 Proceso de impresión, troquelado y hendido.

Una vez obtenido el cartón de pared sencilla ó de doble pared, se sigue con el proceso de conversión o fabricación de cajas de cartón corrugado (Figura 1.9). Este proceso se descompone en:

- a. Impresión
- b. Realización de cortes, troquelados y hendidos
- c. Unión
- d. Embalaje, almacenamiento y distribución

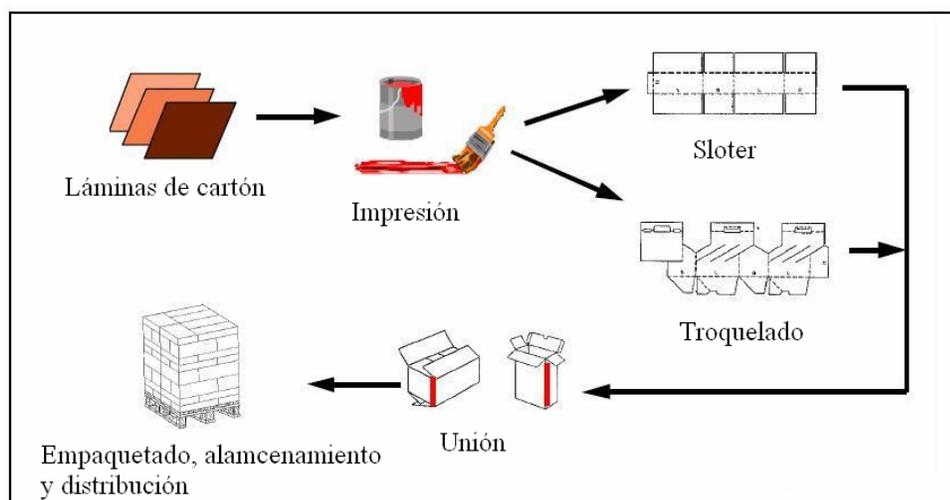


Figura 1-9 Fabricación de embalaje

El proceso de impresión es una de las operaciones más importantes, ya que gracias a ésta se puede identificar el producto, pero también puede ser empleada como un argumento de venta cuando sea necesario, llamando al cliente y haciendo que el producto que contiene sea atractivo para éste.

Existen varias técnicas de impresión empleándose una u otra dependiendo de la calidad final que se quiera lograr.

La flexografía es el proceso de impresión al agua. Ésta consiste en hacer pasar la lámina de cartón entre dos rodillos, uno de los cuales soporta el cliché, que contiene en relieve el diseño de impresión y que se encarga de recibir la tinta y distribuirla sobre la lámina de cartón, y el otro rodillo se encarga de ejercer cierta presión. Las tintas utilizadas son en base acuosa, con secado muy rápido, permitiendo una alta velocidad de impresión.

Si el embalaje necesita recibir una impresión de muy atractiva, con calidad fotográfica, se recurre a la pre-impresión, es decir, imprimir previamente el papel que formará las caras exteriores de la lámina de cartón corrugado. La técnica utilizada en este caso es el *offset*. Esta basada en la repulsión que existe entre las grasas y el agua. Se prepara un cliché en el que la zona que se debe imprimir acepta la tinta (grasa) y la zona que no debe quedar impresa la rechaza y se coloca sobre un rodillo. La hoja de papel no entra en contacto con el cliché, sino que pasa a través de dos rodillos, uno hace de intermedio y le transfiere tinta (es el que realmente hace contacto con el cliché) y el otro es un rodillo de apoyo.

En el caso de Corrugados del Guarco S.A, las impresoras que se tienen son del tipo flexográfico. El cartón puede recibir impresiones sobre tres tipos de fondos: *kraft*, *coating* o papel blanco. El *kraft* es la caja sin impresión ni recubrimientos, tal y como se adquiere la materia prima. El *coating* es el recubrimiento de color. La máxima combinación de colores para la impresión es de cuatro, ya que ésta es la capacidad máxima de las impresoras. El troquelado es el proceso mediante el cual a las cajas se les hacen ciertas perforaciones con los

troqueles. Esto depende del estilo de la caja de acuerdo con los clientes. El Área de Impresión cuenta con varias máquinas:

a. Ward 66

Esta máquina es la más reciente de todas. Imprime en cuatro colores y es troqueladora a la vez (Figura 1.10). Es utilizada para la tirada de caja de piña.



Figura 1-10 *Ward 66*

La máquina es alimentada con un *conveyor*⁶ que ingresa el cartón a la unidad alimentadora para luego ser impreso y troquelado. Luego las láminas de cartón son impresas, se apilan en bultos para ser amarradas con una máquina amarradora y se llevan, mediante un *conveyor*, al *Pallet Staging*

⁶*Conveyors*: Bandas automáticas con rodillos que sirven para transportar las láminas de cartón.

b. Pallet Staging

El *Pallet Staging* tiene la función de estibar los bultos de cartón en las paletas para luego ser transportados hacia la bodega de producto terminado (Figura 1.11).



Figura 1-11 *Pallet Staging*

c. Ward

Se utiliza únicamente para troquelado de cartón. Es rápida y da un buen acabado (Figura 1-12).



Figura 1-12 Troqueladora *Ward*.

d. Saturno 50

Imprime a cuatro colores. Tiene la capacidad de *slotear*⁷ la caja para luego ser doblada y pegada en el fólter (Figura 1.13).



Figura 1-13 Saturno 50

e. Saturno III

Es muy similar a la anterior, pero difiere en que imprime cuatro colores. Posee unidad *sloteadora* y fólter (Figura 1.14).



Figura 1-14 Saturno III

⁷ *Slotear*: Ranuras hechas a la caja para poder doblarla

f. Curioni 3600

Imprime a dos colores. Actualmente es poco lo que se imprime en esta máquina ya que es un poco lenta e imprime pocos colores. Al igual que las anteriores tiene unidad *sloteadora* y fôlder para doblar y pegar las cajas (Figura 1.15).

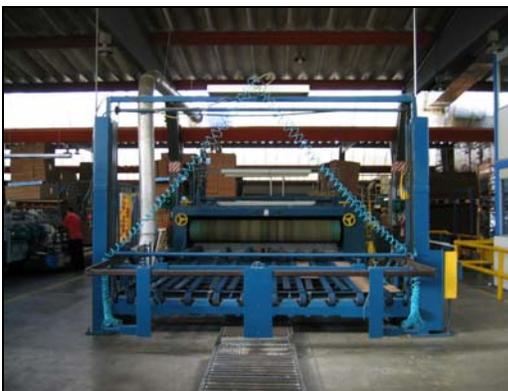


Figura 1-15 Curioni 3600

g. Embaladora

Su uso es para procesar el material de desperdicio. Todas las impresoras y las troqueladoras generan material de desecho, éste es succionado por medio de turbinas (Figura 1.16). Este material es trasportado por unos ductos hacia una picadora, la cual se encarga de picar el papel de desperdicio en trozos finos para finalmente agruparlo en pacas. Este desecho se comercializa para producir otro tipo de papel.



Figura 1-16 Turbinas Área Embaladora

h. Parafinadoras

Se tiene la parafinadora por cascada y la parafinadota por cortina (Figura 1.17). En la primera se calienta la parafina a alta temperatura y se pasa las cajas verticalmente. Este proceso hace que la caja se cubra de parafina totalmente. En la parafinadota por cascada, sólo una de las caras de la caja se parafina. Este proceso hace que el cartón se impermeabilice y proteja la caja de productos húmedos. En el proceso de corrugación, se puede aplicar resina al cartón, el acabado es similar al de un barniz pero es más resistente que la parafina.



Figura 1-17 Parafinadoras

i. Sticher

Realiza mecánicamente el engrapado de las cajas (Figura 1.18).



Figura 1-18 Sticher

1.3 Procedimiento General para Mantenimiento de Maquinaria, Equipo e instalaciones

El departamento de Mantenimiento está supeditado a la Gerencia de Producción. Internamente el organigrama que presenta el departamento de mantenimiento es el que se muestra a continuación:

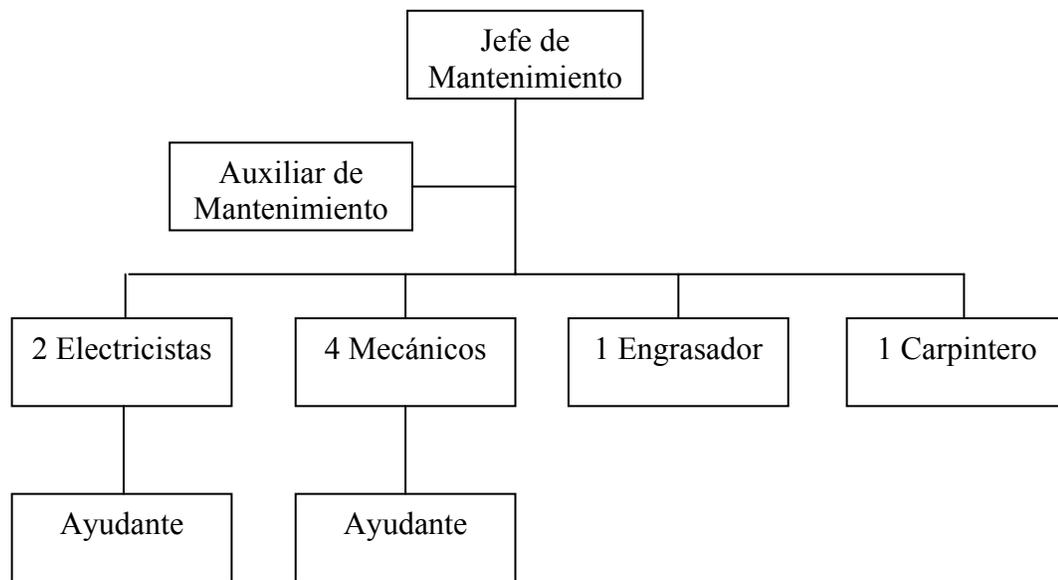


Figura 1-19 Organigrama del Departamento de Mantenimiento

1.3.1 Propósito

Establecer cuáles son los mecanismos de información que permiten conocer por parte del usuario, cuándo y cómo ejecutar las labores, a cuál equipo se debe dar el mantenimiento preventivo y/o correctivo, así como quiénes deben hacerlo. De este modo se agiliza la retroalimentación apropiada para una óptima operación de la empresa.

1.3.2 Alcance

Este procedimiento aplica para todos los empleados de mantenimiento involucrados en el desarrollo del mantenimiento preventivo y/o correctivo de Corrugación, calderas, impresoras, parafinado, particiones, montacargas, equipo auxiliar e instalaciones.

1.3.3 Responsables

El jefe de mantenimiento es el responsable de que las actividades de mantenimiento de la empresa se ejecuten dentro del desarrollo normal de operación. Debe velar porque se ejecuten las labores de acuerdo con el programa establecido o con los cambios que haya que hacerle. Además, porque el mantenimiento correctivo se ejecute de la forma más eficiente posible. Cualquier situación anormal que tenga que ver con mantenimiento, el jefe de este departamento debe reportarla al gerente de producción para llevar a cabo de las acciones correctivas o preventivas correspondientes.

1.3.4 Descripción del procedimiento

El mantenimiento en Corrugados del Guarco se divide en dos tipos de Mantenimiento: Mantenimiento Correctivo y Mantenimiento Preventivo. Para ambos tipos de mantenimiento, se manejan diferentes tipos de órdenes de trabajo y solicitudes, las cuales se describen en el Anexo 4. La utilización de éstas se detalla a continuación:

Manejo de la Orden de Trabajo Correctiva (REGGR-02)

Cuando el operador de una máquina detecta un problema o trabajo determinado en la máquina, lo comunica al mecánico, electricista o jefe de mantenimiento verbalmente.

Cuando la situación es comunicada al mecánico o electricista, éstos proceden a solucionar el problema, si no lo pueden realizar, le informan al jefe de mantenimiento, el cual se responsabiliza de la solución del problema, ya se interna o externamente.

Mientras se realiza el trabajo o al finalizarlo, el operador de la máquina llena la Solicitud de trabajo REGGR-03 y la entrega al mecánico o electricista, dicha solicitud es firmada por el jefe de mantenimiento. El jefe de mantenimiento entrega la solicitud al auxiliar de mantenimiento, éste procede a generar la Orden de Trabajo Correctiva REGGR-02 anotando en la Solicitud de Trabajo, el número de la orden generada. El original de la solicitud de trabajo es archivado en el Departamento de Mantenimiento y la copia en el Departamento de Producción.

El mecánico o electricista incluye la información del trabajo realizado (fecha, hora, observación) en la orden de trabajo correctiva.

Las solicitudes de trabajo REGGR-03 pueden ser llenadas a mano por los operadores de la máquina y/o los mecánicos o electricistas.

Una orden de trabajo correctiva puede generar un trabajo posterior para evitar que se presente nuevamente el problema, convirtiéndola en una preventiva mediante la Orden de Trabajo Preventiva REGGR-06.

Manejo de la Orden de Trabajo Correctiva Programada (REGGR-07)

Cuando se solicitan trabajos en los cuales no necesariamente se tenga que parar una máquina, el operador de la máquina llena la Solicitud de Trabajo REGGR-03 y la remite al jefe inmediato y éste la entrega al jefe de mantenimiento.

El jefe de mantenimiento revisa la Solicitud de Trabajo; si ésta no corresponde a una actividad de mantenimiento de máquina, el éste la devuelve al jefe solicitante; de lo contrario el jefe de mantenimiento entrega la solicitud al auxiliar de mantenimiento y le dice verbalmente que la solicitud se utilizará para generar una Orden de Trabajo Correctiva Programada REGGR-07. El original de la Solicitud de Trabajo es archivado en el Departamento de Mantenimiento y la copia en el departamento de producción.

Estas órdenes de trabajo correctivas programadas son ejecutadas semanalmente. Cada semana, el auxiliar de mantenimiento entrega estas órdenes a mecánicos y electricistas, para su ejecución. Mensualmente este auxiliar de mantenimiento le entrega un reporte de las órdenes de trabajo de Mantenimiento Preventivo y Programado realizadas el mes anterior, al jefe de mantenimiento.

Cuando se necesite realizar Mantenimiento Correctivo, en el que se vea interrumpida la producción, el jefe de mantenimiento comunica al gerente de producción o jefe de planta y al jefe de programación, el tiempo aproximado que la máquina estará detenida. Si se requiere realizar una modificación a la programación, el jefe de programación, solicita un memorando al jefe de mantenimiento en el que se indique el tiempo aproximado de parada.

Manejo de la Orden Preventiva REGGR-06

El mantenimiento preventivo se realiza de acuerdo con el cronograma de mantenimiento, el auxiliar de mantenimiento imprime semanalmente las Órdenes de Trabajo Preventivas REGGR-06 y las distribuye al mecánico, electricista, o a los ayudantes. Si alguno de los técnicos necesitara la descripción detallada de cómo ejecutar el trabajo, el auxiliar de mantenimiento le imprime la orden de trabajo con la descripción correspondiente.

Los trabajos de preventivo no se pueden llevar a cabo cuando la máquina está en producción, sólo se realizarán aquéllos que puedan ejecutarse con la máquina en funcionamiento y no alteren el proceso productivo.

Generalmente los trabajos programados se realizan durante fines de semana cuando el corrugador e imprentas están fuera de servicio.

Una vez realizados los trabajos de preventivo, el técnico entrega las órdenes de trabajo al jefe de mantenimiento para que las firme y seguidamente se las entrega al auxiliar de mantenimiento para que sean introducidas al sistema. El departamento utiliza el software *Revolution 4.0*, el cual, hasta el momento, ha trabajado bastante bien según lo indica el auxiliar.

El mantenimiento de edificios lo lleva el auxiliar de mantenimiento. Se programan diferentes tareas y se cuenta con una empresa contratista que realizan estos trabajos.

Actualmente se trabaja bajo un presupuesto para maquinaria y un presupuesto para construcción mensual. Ambos presupuestos son controlados por el personal de Mantenimiento en conjunto con el Gerente de Producción.

Manejo de Inventario de Repuestos

Con respecto a los inventarios de repuestos, se maneja un inventario de tarjetas electrónicas y rodillos. El jefe de mantenimiento solicita al auxiliar de mantenimiento que revise periódicamente en el sistema de la Bodega de Suministros, la cantidad de repuestos existentes que se tienen en la empresa y si es necesario pedir algún repuesto se llena la Solicitud de Compra REGRP-08 y se procede a su tramitación.

Cuando alguno de los mecánicos o electricistas requieran sacar un repuesto de bodega, tienen que ir al auxiliar de mantenimiento y pedirle que realice una solicitud pendiente. Una vez que es realizada van a la Bodega de Suministros y el encargado de ésta ingresa al sistema y saca los repuestos anotados en la solicitud. Estos repuestos se cargarán a la orden de trabajo, ya sea preventiva, correctiva, o programada.

2 Estudio de la red de distribución de aire comprimido

2.1 Introducción

Por ser una industria que fabrica empaques de cartón corrugado, la empresa Corrugados del Guarco S.A cuenta con una gran cantidad de equipos neumáticos, los cuales se encargan de alimentar las máquinas en las diferentes áreas de proceso.

Debido al crecimiento acelerado y muchas veces poco planificado creado por la creciente necesidad del mercado y promovido por la iniciativa constante de los gestores, tanto por el aumento de su capacidad de producción como por la expansión de la planta han sido indispensables, una serie de cambios tanto en el proceso como en las políticas de funcionamiento. Es por esta razón que ciertos sistemas, en este caso la red de distribución de aire comprimido, han tenido que irse extendiendo proporcionalmente a este crecimiento.

Muchos de estos sistemas, han sido ampliados sin una previa proyección, por lo que ciertos procesos están viéndose afectados, de aquí la necesidad de un estudio detallado de la Red de Distribución de Aire Comprimido.

En este capítulo se detallan todos los aspectos tomados para la realización de dicho estudio. Se abarcará desde la parte suplidora (compresores, secadores, tanques de acumulación), hasta la parte que demanda aire (equipos neumáticos), esto con la finalidad de poder dar las conclusiones, recomendaciones y las posibles soluciones necesarias para el mejoramiento del sistema.

2.2 Definición del problema o necesidad

El uso del aire comprimido es una de las fuentes básicas de operación en la planta. Aproximadamente un 95 % de los equipos involucrados en dicho proceso lo utilizan. Este sistema de distribución de aire a alta presión ha ido aumentando con el crecimiento de la producción y las modificaciones hechas al proceso de una forma significativa y sin una planificación previa (desordenadamente).

Para poder comprender la importancia del proyecto (o la magnitud del problema) fue necesario conocer el proceso de fabricación de empaques de cartón, descrito y mostrado esquemáticamente en el capítulo anterior.

El problema se presenta cuando en el Área de Corrugación, una o varias salidas de aire están siendo utilizadas para limpieza, en el Área de Impresión se percibe una caída considerable en la presión por lo que ciertos equipos no pueden trabajar correctamente o dejan de funcionar del todo.

No hay un dato exacto de cuando fue instalada la red, ni existen registros ni documentación como planos, datos de presión y consumo en los equipos, por lo que existe una gran necesidad en hacer un estudio detallado de la misma. Con este estudio se pretende encontrar las causas del o los problema existentes y poder dar todas las recomendaciones necesarias y una solución efectiva.

En los siguientes apartados se explican detalladamente todos los puntos necesarios que conformaron el estudio.

2.3 *Objetivos Generales*

Los objetivos del presente proyecto son:

- a. Realizar un estudio a la Red de Distribución de Aire Comprimido actual.
- b. Hacer las correcciones y mejoras necesarias para garantizar un mayor rendimiento de los elementos neumáticos y por ende del proceso productivo.

2.4 *Metodología o procedimiento a seguir*

Para la realización del estudio de la red de distribución de aire comprimido, que brinde una mayor eficiencia y eficacia del proceso productivo, se plantean las siguientes necesidades a satisfacer:

- a. Levantamiento de los planos de la distribución de tuberías de aire a alta presión.
 - Con dimensiones tanto de diámetros como longitudes totales.
 - Con cantidad y descripción de accesorios.
 - Y con la ubicación de acuerdo con la maquinaria o equipo que abastecen.
- b. Análisis de las partes del sistema de aire comprimido.
- c. Análisis de los equipos y maquinaria alimentados con aire comprimido.
- d. Cálculo de pérdidas en las líneas debido a:
 - Presión.
 - Fugas.
- e. Determinación de consumos de aire en máquinas de proceso y acoples para limpieza.

- f. Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones encontradas con el estudio realizado a la red de distribución de aire comprimido.

2.5 Levantamiento de los planos de la distribución de tuberías de aire a alta presión.

Para la realización de la primera etapa, la más laboriosa y lenta del proyecto, se procedió a realizar un reconocimiento exhaustivo de toda la instalación de la red de aire ya mencionada, con un seguimiento de cada una de las líneas principales que salen de los compresores, con sus respectivos ramales y cada uno de los bajantes presentes en las líneas.

La empresa contaba con un plano de distribución de planta pero la última actualización se había hecho en noviembre del 2004, por lo que inicialmente se procedió a actualizarlo. La planta ha venido creciendo considerablemente, existen nuevas edificaciones, máquinas y equipos nuevos, zonas peatonales nuevas, etc. La actualización de este plano genera un valor agregado al proyecto, porque ahora está a disposición el plano de distribución de planta con todas estas modificaciones incluidas, lo cual ha ayudado mucho para los montajes de máquinas que se están instalando actualmente. Para una empresa en constante crecimiento, es muy importante tener un plano que se esté actualizando todas las semanas, ya que en cualquier momento se pueden hacer cambios y el plano ayuda mucho a la hora de realizar montajes y modificaciones en la planta.

Sobre este primer plano, se dibujó la red de aire comprimido con todas las especificaciones de tuberías y accesorios (ver *Plano A-01 Red de Aire Comprimido*). Este plano facilita a la hora de hacer un cambio o reparación a la red, la ubicación de sus elementos, tales como poder primario⁸, accesorios, tuberías y controles del sistema. En el plano *A-02 Distribución de Red*

⁸ Poder primario: compresores, acumuladores.

de Aire Comprimido, se muestra el sistema en perspectiva, esto con el fin de identificar las alimentaciones de las máquinas con distancias y longitudes de tuberías.

En la tabla 2.1 se describe cada salida de aire, ubicadas por área de proceso y sección, denominadas con un número para su rápida ubicación en los planos y con un valor de presión de trabajo tomado de manuales ó directamente de la máquina.

Tabla 2.1 Detalle de salidas de la Red de Distribución de Aire Comprimido

Área	Sección	Salida	Máquina	Presión de trabajo PSI
Embaladora	Embaladora	1	Punto para Limpieza	-
Embaladora	Embaladora	2	Punto para Limpieza	-
Embaladora	Embaladora	3	Purga manual	-
Talleres	Taller Mecánico	4	Punto para Limpieza	-
Talleres	Taller Mecánico	5	Punto para Limpieza	-
Talleres	Taller Eléctrico	6	Amarradora <i>Signode</i>	100
Talleres	Taller Carpintería	7	Punto para Limpieza	-
Talleres	Taller Automotriz	8	Llave de Impacto $\frac{3}{4}$	80
Parafinadora	Parafinadora	9	Punto para Limpieza	-
Parafinadora	Parafinadora	10	Parafinadora por cortina	80
Parafinadora	<i>Sticher</i>	11	Punto para Limpieza	-
Corrugación	Corrugación	12	Mesas de entrega, Cuchilla Transversal, Aire limpieza	80
Corrugación	Corrugación	13	<i>Razor Set</i> , Conjunto desviador de horquillas	80
Corrugación	Corrugación	14	Punto para Limpieza	-
Corrugación	Corrugación	15	Tanque Acumulador <i>Double Backer</i>	80
Corrugación	Corrugación	16	Tanque Acumulador <i>Hot Foot</i>	80
Corrugación	Corrugación	17	Máquina de Goma	80
Corrugación	Corrugación	18	Aplicador de rasquetas, Punto para Limpieza, SPL5, Guías de vacío <i>Crittenden</i>	80
Corrugación	Corrugación	18	2 Bombas neumáticas <i>coating</i>	80
Corrugación	Corrugación	19	SPL4	80
Corrugación	Corrugación	20	Flauta C, salida	80
Corrugación	Corrugación	21	SPL3	80
Corrugación	Corrugación	22	SPL2	80
Corrugación	Corrugación	23	Flauta B, Tanque dosificador de goma	80
Corrugación	Corrugación	24	SPL1, 1 bomba aplicador resina	80
Calderas	Calderas	25	Punto para Limpieza	-
Gomas	Gomas	26	Punto para Limpieza	-

Estudio de la red de distribución de aire comprimido

Tintas	Tintas	27	Punto para Limpieza	-
Tintas	Tintas	28	Bomba neumática	80
Imprentas	<i>Ward 66</i>	29	Alimentador <i>Ward 66</i>	100
Imprentas	<i>Pallet Staging</i>	30	<i>Pallet Staging</i>	80
Imprentas	<i>Ward Vieja</i>	31	Alimentador <i>Ward Vieja</i>	80
Imprentas	<i>Ward Vieja</i>	32	<i>Sloter Ward Vieja</i>	80
Imprentas	<i>Ward Vieja</i>	33	Troqueladora <i>Ward Vieja</i>	80
Imprentas	<i>Ward Vieja</i>	34	Aire Limpieza	-
Imprentas	<i>Saturno III</i>	35	Alimentación <i>Saturno III</i>	80
Imprentas	<i>Saturno III</i>	36	Color 1 <i>Saturno III</i>	80
Imprentas	<i>Saturno III</i>	37	Color 2 <i>Saturno III</i>	80
Imprentas	<i>Saturno III</i>	38	Color 3 <i>Saturno III</i>	80
Imprentas	<i>Saturno III</i>	39	Troqueladora <i>Saturno III</i>	80
Imprentas	<i>Saturno III</i>	40	Sistema de Goma <i>Saturno III</i>	80
Imprentas	<i>Saturno III</i>	41	<i>Stacker</i> , Aire Limpieza <i>Saturno III</i>	80
Imprentas	<i>Saturno III</i>	42	Aire para limpiar	-
Imprentas	<i>Saturno 50</i>	43	Alimentación <i>Saturno 50</i>	80
Imprentas	<i>Saturno 50</i>	44	Color 1 <i>Saturno 50</i>	80
Imprentas	<i>Saturno 50</i>	45	Color 2 <i>Saturno 50</i>	80
Imprentas	<i>Saturno 50</i>	46	Color 3, Color 4 <i>Saturno 50</i>	80
Imprentas	<i>Saturno 50</i>	47	<i>Sloter Saturno 50</i>	80
Imprentas	<i>Saturno 50</i>	48	Troqueladora <i>Saturno 50</i>	80
Imprentas	<i>Saturno 50</i>	49	Fólder <i>Saturno 50</i>	80
Imprentas	<i>Saturno 50</i>	50	<i>Stacker</i> , Aire Limpieza <i>Saturno 50</i>	80
Imprentas	<i>Saturno 50</i>	51	Aire limpieza	-
Imprentas	<i>Saturno 50</i>	52	Aire Limpieza	-
Imprentas	<i>Curioni 3600</i>	53	Alimentación <i>Curioni</i>	80
Imprentas	<i>Curioni 3600</i>	54	Aire Limpieza	-
Imprentas	<i>Ward 66</i>	55	Alimentación <i>Ward 66</i>	80
Imprentas	<i>Ward 66</i>	56	Color 1 <i>Ward 66</i>	80
Imprentas	<i>Ward 66</i>	57	Color 2 <i>Ward 66</i>	80
Imprentas	<i>Ward 66</i>	58	Color 3 <i>Ward 66</i>	80
Imprentas	<i>Ward 66</i>	59	Color 4 <i>Ward 66</i>	80
Imprentas	<i>Ward 66</i>	60	Troqueladora	80
Imprentas	<i>Ward 66</i>	61	<i>Conyeyor salida Ward 66</i>	80
Imprentas	<i>Ward 66</i>	62	Amarradora	80
Terminado	Terminado	63	Purga manual	-
Terminado	Terminado	64	Aire Limpieza	-
Terminado	Terminado	65	Purga	-
Terminado	Terminado	66	Aire para inflar	-

Como se pudo observar en la tabla anterior se tiene un total de 66 salidas de aire a alta presión distribuidas en toda la planta. En la figura 2.1 se observa un gráfico el cual muestra distribución de salidas de aire por áreas de proceso asignándole un porcentaje a cada una.

Como se puede observar el área de imprentas representa el área con mayor cantidad de salidas, seguido por el área de corrugación, talleres, bodega de producto terminado, y la embaladora con el porcentaje más bajo.

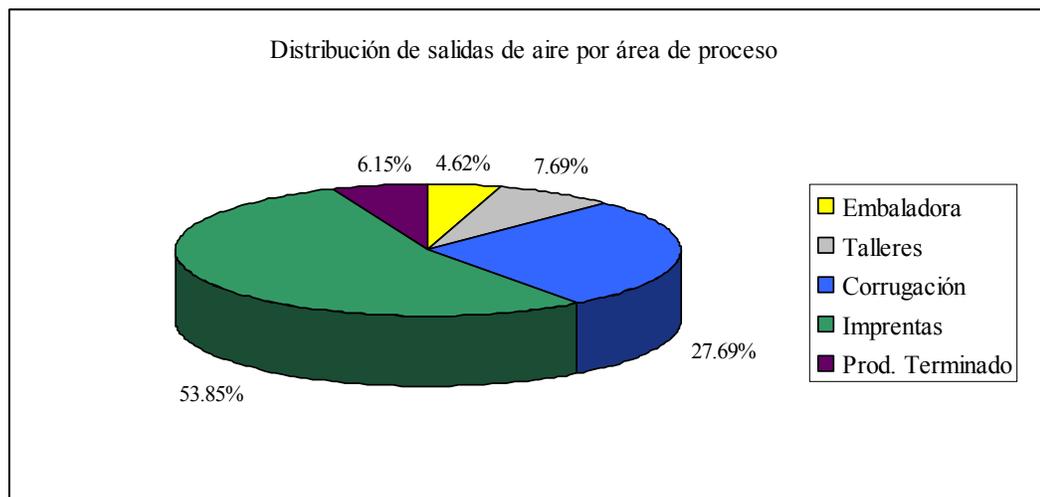


Figura 2-1 Distribución de salidas de aire por áreas de proceso

En esta primera etapa se hizo también un reconocimiento de las dimensiones en los diferentes tipos de tuberías⁹ que componen la red de distribución de aire:

- Con dimensiones tanto de diámetros como de longitudes.
- Con cantidad y descripción de accesorios.

Cuando se mencionan accesorios encontrados en la red se hará referencia a:

- *Tees*
- Codos: De noventa grados (90°).
De cuarenta y cinco grados (45°).

⁹ Tipos de tuberías: Tubería principal, ramal, bajante y tubería de interconexión o manguera.

- Tapones de líneas: macho y hembra.
- Reducciones: Campana y *bushing*.
- Válvulas de accionamiento rápido, como son las válvulas de bola.
- Válvulas reguladoras de flujo, como las válvulas de compuerta.
- Válvulas solenoides.

Cuando se refieren a la cantidad de accesorios, es la cantidad de ellos presentes en cada tipo de línea¹⁴. Cuando se menciona la descripción de los accesorios, se refiere a las dimensiones de cada uno de ellos y al tipo que corresponden, es decir si son *tees*, codos, el tipo de válvula, por ejemplo, etc.

2.6 *Análisis de las partes del sistema de aire comprimido*

A continuación se presenta una descripción del sistema de aire comprimido dividido por áreas. En los planos A-01 y A-02 se presenta cada área de proceso con sus respectivas salidas que alimentan a las máquinas o salidas para acoples de limpieza.

2.6.1 *Compresores*

La empresa cuenta con tres compresores, dos de 50 HP y uno de 75 HP (Figura 2.2). La finalidad de tener tres compresores disponibles es para poder rotarlos cuando alguno sale de servicio. Con el de 75 HP se espera la cobertura de aire de la planta. Cuando este último está fuera de servicio por mantenimiento preventivo, los dos de 50 HP trabajan simultáneamente para abastecer de aire a la planta. En caso de que falle el de 75 HP y uno de los de 50 HP, la planta podría funcionar con el de 50 HP al 50 % pero este caso es muy poco probable que suceda ya que en general se les está aplicado un buen mantenimiento preventivo.



Figura 2-2 Compresores

En la tabla 2.2 se resumen las especificaciones de cada uno de los compresores.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de compresores

Marca	Potencia		Capacidad		Presión de trabajo	
	HP	KW	ACFM ¹⁰	M ³ /MIN	PSIG	BAR
Sullair	75	55	314	8.89	115	7.9
Sullair	50	37	212	6.00	100	6.9
Ingersoll Rand	50	37	198	5.60	125	8.6

Para convertir CFM a m³/min, (Ver Tabla para conversión de unidades en Anexo 7)

Para verificar si la presión del compresor conectado cubre la demanda de presión de la planta, se toma la presión a la cual se debe trabajar (presión efectiva). Se establece primero cuál es el equipo que requiere mayor presión, esta será la mínima presión que deberá tener el sistema para que se desempeñe bien. En la Tabla 2.1, se observa que la mínima presión es de 100 PSI. Si a esa presión, se le suma el 2% de caída de presión permisible, se obtendrá la presión que hay que aplicar a la entrada de la tubería para que al punto más lejano lleguen 100 PSI ó 7 Bar.

¹⁰ ACFM: Metros cúbicos por minuto actuales.

Ecuación 1

$$\text{Presión mínima} = (\text{Ptrab} + \text{PoCartago}) \times 2\% + (\text{Ptrab} + \text{PoCartago})$$

La presión atmosférica para la ciudad de Cartago que se encuentra a 1500 metros sobre el nivel del mar es de 0.844 Bar absolutos. Este valor fue tomado de la tabla que muestra la variación de la presión atmosférica con la altitud en el Anexo 5. Sustituyendo estos valores en la ecuación se tiene una presión mínima del sistema de:

$$\text{Presión mínima} = (7 + 0.844) \times 2\% + (7 + 0.844)$$

$$\text{Presión mínima} = 8 \text{ bar absolutos} = 116 \text{ PSI}$$

$$\text{Presión mínima} = (8 - 0.844) = 7.16 \text{ bar manométricos}$$

Para efectos de corroborar el rango de presiones de carga y descarga del compresor, ésta presión calculada será la presión de conexión del compresor, o sea a la presión en que empieza a trabajar para levantar la presión hasta aproximadamente 9 Bares. Para efectos prácticos se puede establecer este rango de 7.5-8.5 Bares (110-120 PSI). Se hizo una verificación de campo para monitorear esta presión. El día que se hizo la prueba estaban trabajando los dos compresores pequeños y se observó que el rango de presiones estaba en 105-115 PSI. Primero, este rango de presiones es muy bajo según la mínima presión calculada anteriormente y segundo, se debe establecer una diferencia de 10 PSI entre presión de carga y descarga del compresor. Se recomienda ingresar como una nueva tarea al sistema de mantenimiento preventivo, una verificación de presiones de carga y descarga en los compresores, con el fin de asegurar la mínima presión a los equipos.

Por otro lado, se ha venido presentando un problema en los compresores después de que recientemente se reubicó la embaladora cerca del cuarto de compresores. Debido a que en esta área de proceso se genera mucho polvo y parte de esta contaminación es succionada por los compresores, los radiadores se están saturando muy rápido (ver Figura 2.3). En consecuencia, las temperaturas de operación de los compresores están aumentando considerablemente, lo que provoca que se disparen sus protecciones térmicas. La temperatura de operación normal del compresor deberá estar cerca de los 191°C. Después de realizar una lectura en el campo se obtuvo una temperatura de 225°C. Este exceso de temperatura genera desgaste excesivo en el motor y un alto consumo de energía. Los fabricantes recomiendan que los compresores succionen aire lo más frío posible para lograr una mayor eficiencia.



1. Limpieza radiador de compresor de 75 HP



2. Evidencia de un exceso de contaminación

Figura 2-3 Limpieza de radiador del compresor de 75 HP

Se recomienda mandar a cotizar e instalar lo antes posible un sistema de ductos vertical para que los compresores succionen aire frío y limpio del exterior. Como solución inmediata se recomienda disminuir la frecuencia de inspección y limpieza de los radiadores con el fin de evitar que se apaguen estos equipos constantemente.

2.6.2 Sistema de almacenamiento y equipo de tratamiento del aire

La función del tanque recibidor es almacenar el aire comprimido. También funciona como un separador de condensados. Además, el sistema de almacenamiento de aire asegura un flujo de aire constante a los equipos de aire comprimido e iguala las variaciones de presión de la red las cuales podrían causar ciclos de carga y descarga del compresor, lo que es muy dañino para el sistema eléctrico y mecánico.

Usualmente el tanque es provisto con una válvula de seguridad, un manómetro, una prevista para instalar un manómetro para medir una presión de prueba, un cobertor y una válvula de purga.

Se cuenta con tres tanques de almacenamiento, uno de 5m³ y dos de 2.20m³ cada uno. En la figura 2.4 se muestran estos tanques.



Figura 2-4 Sistema de almacenamiento

Para los tanques de almacenamiento es conveniente dejar su elección siempre al criterio del fabricante del compresor, el cual generalmente, ya incluye el tanque con el compresor. Su capacidad puede verificarse con la siguiente ecuación:

Ecuación 2

$$\text{Volumen (litros)} = \text{Potencia Compresor (HP)} * 75$$

De las especificaciones de los compresores en la Tabla 2.2 se tiene una potencia 75HP para el compresor más grande. Sustituyendo este valor en la ecuación anterior se tiene que el tanque de almacenamiento para este compresor deberá ser de 5625 litros. Se había mencionado que la red cuenta con un tanque de 5m³ y dos de 2.20m³ que en total suman 9.4m³ y con la ayuda de la tabla de conversiones en el Anexo 7, se tiene que 9.4m³ representan 9400 litros. Comparando el volumen real del tanque con el calculado anteriormente, se concluye que los tanques de almacenamiento sí cumplen con el volumen necesario para poder sostener la presión del compresor por lo que se puede descartar que exista problema alguno con el sistema de almacenamiento.

La instalación del secador de aire antes del tanque de acumulación es un caso especial (Figura 2.5). Una vez que el compresor carga, existe una pérdida de presión de aproximadamente 0.3 Bares a la salida del secador. Suponga que el control de presión en el compresor está *seteado* para descargarlo y cargarlo a 7 y 6 Bares respectivamente. Cuando el secador es instalado antes del receptor, el control de presión va a descargar el compresor a 6.7 Bares presión del acumulador (el cual corresponde a 7 Bares a la salida del compresor). Después de la descarga, no hay caída de presión a la salida del secador. El período de carga y descarga es más corto que en el caso de que se instale el tanque después del compresor.

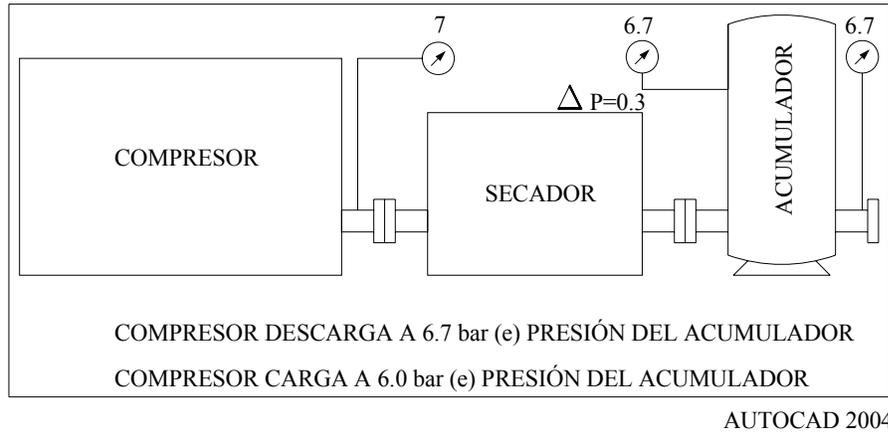


Figura 2-5 Caso especial de instalación del secador

Cuando se instale el secador después del compresor y antes del acumulador, el volumen calculado para el tanque de acumulación deberá aumentar entre un 20% y un 40%.

En el caso de Corrugados del Guarco se tiene instalado el secador y el tanque como se muestra en la figura 2.6.

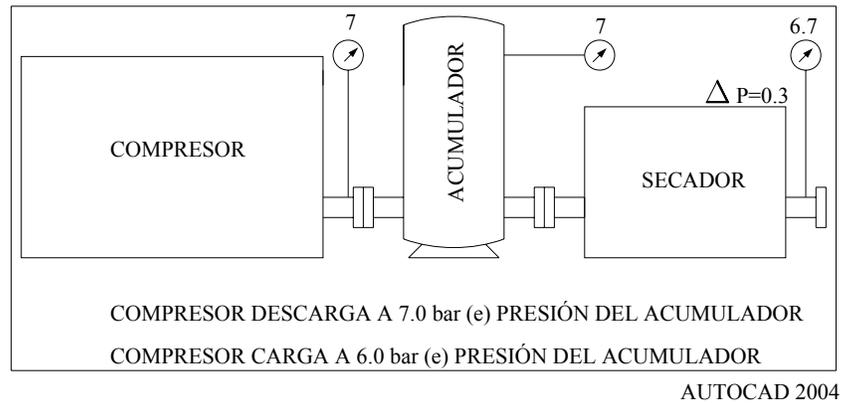


Figura 2-6 Instalación de secador y acumulador en Corrugados del Guarco S.A

Este tipo de instalación del secador asegura que la descarga suceda cuando la presión del acumulador llegue a 7 bares, y por lo tanto no se necesita aumentar el volumen del tanque de almacenamiento.

En cualquier red de aire comprimido es muy importante contar con equipos de tratamiento, ya que su función es remover las partículas contaminantes del aire. En el caso de Corrugados del Guarco S.A, cuenta con dos secadores de aire comprimido por enfriamiento¹¹, uno para cada compresor o grupo de compresores (Figura 2.7).



1. Secador para compresor de 75 HP



2. Secador para compresor de 50 HP

Figura 2-7 Equipos de tratamiento del aire

En la tubería de salida después del secador cuenta con accesorios para tratar el aire, tales como filtros y purgas automáticas. Además se conectó un manómetro para monitorear la presión de línea en la tubería principal después del secador.

2.6.3 Análisis de las tuberías de la red

En cualquier lugar donde se necesite transferir un fluido, ya sea, gas o líquido, se debe de recurrir a algún conducto que asegure el transporte de dicho fluido. Es aquí donde la selección de las tuberías adecuadas tiene gran importancia, puesto que las tuberías son la forma más rápida y eficiente de transportar fluidos de un lugar a otro.

¹¹ Secador de aire comprimido por enfriamiento: Los secadores de aire comprimido por enfriamiento se basan en el principio de una reducción de temperatura del punto de rocío. Para más información ver artículo en Anexo 6.

Básicamente existen dos tipos de sistemas de tuberías: los sistemas hidráulicos y los sistemas neumáticos. Los sistemas hidráulicos son los que se utilizan para la transferencia de líquidos tales como agua, aceites y pastas aguadas. Los sistemas neumáticos se emplean para transferir gases como el aire, el oxígeno, nitrógeno e hidrógeno. En este caso se analizarán las tuberías que transfieren aire comprimido a diversas presiones de modo que se cumpla con los requerimientos de los equipos neumáticos empleados.

Para manejar aire a alta presión se recomienda utilizar tubería de cobre o fundición¹². Una de las características de la tubería de cobre es su resistencia a la corrosión, lo que motiva que presente un buen comportamiento frente a casi la totalidad de los materiales de construcción y de los materiales de construcción y de los fluidos a transportar, asegurando así a una larga vida útil a la instalación. La fundición es un material muy usado desde hace mucho tiempo para la fabricación de tubos y tuberías. Su característica principal es su resistencia a la corrosión.

Además los tubos de fundición ya sean dúctiles o no, se revisten interiormente con una capa de mortero de cemento centrifugada para preservarlos de incrustaciones y dejar la superficie muy lisa. La mayor diferencia entre ambas tuberías es su vida útil. Por sus propiedades la tubería de cobre dura mucho más tiempo que la tubería de fundición y por ende el costo de adquisición es mucho mayor. Es bueno considerar todas estas características para al final lograr una instalación eficiente de la red.

En cualquier red de aire comprimido se pueden considerar cuatro tipos de tuberías:

a. Tubería Principal

Es la línea que sale del depósito de aire comprimido y conduce la totalidad del caudal de aire de la planta.

¹² Fundición: hierro fundido, forjado o galvanizado

b. Tubería secundaria

Es la que toma el aire de la tubería principal, ramificándose por las áreas de trabajo, el caudal que transporta es igual a la suma de los caudales parciales que de ella se deriven.

c. Tubería de servicio

Es también conocida con el nombre de bajante, provienen de las tuberías secundarias y son las que alimentan los equipos neumáticos.

d. Tubería de interconexión

Es la que lleva el aire de la salida del bajante hasta las máquinas de proceso o equipos neumáticos.

Es importante tomar en cuenta, el tiempo de servicio de la tubería. No se cuenta con un dato exacto de cuándo se instaló la red, pero se dice que supera los 25 años. Con el tiempo, se han venido instalando tramos de tubería debido a la instalación de nuevas máquinas, tal es el caso de la *Ward 66* que fue la última instalada. El material de éstas es en hierro galvanizado e hierro negro.

Con el surgimiento de la automatización, se han ido sacando de operación otras máquinas y muchas de las tuberías que alimentaban estos equipos nunca se sacaron de la línea. Por ejemplo, en el área de Bodega de Producto No Conforme y Bodega de Bobinas hay aproximadamente 36 metros de tubería que no alimenta a ningún equipo. Se recomienda eliminar estas tuberías ya que esto genera pérdidas de presión al sistema por fugas y por resistencia del flujo de aire.

Para el análisis, se hizo primero un levantamiento y se generó un plano, como se describió en las secciones anteriores. De este plano se obtuvieron las longitudes de tuberías, con sus respectivos diámetros y se valoró su estado general.

En la Tabla 2.3 se presenta un detalle del diámetro, longitud total y estado de la tubería de aire comprimido.

Tabla 2.3 Especificaciones de tubería actual

Tipo de tubería	Diámetros		Longitud m
	Pulgadas	mm	
Principal	½, 1¼	15, 32	443
Secundaria	1¼, 2	32, 50	112
Servicio	½, 1	15, 25	129

Nota: para poder identificar cada una de las tuberías, consultar el plano A-02

Como se puede observar, existen diferentes diámetros para cada tipo de tubería. Para la tubería principal se tiene un diámetro de tubería de 1¼ pulgada lo cual se considera que es diámetro muy reducido para la capacidad de los compresores. Hay ciertos tramos de tubería principal que se reducen hasta ½ pulgada, lo cual genera grandes caídas de presión como se analizará más adelante. Esta reducción de caudal hace que no le llegue presión a ciertos equipos que se encuentran en puntos muy lejanos del compresor o grupo de compresores.

Como no se pudo realizar un estudio detallado del consumo específico de los equipos, es difícil generalizar acerca de los diámetros de tuberías en el sistema. Se pudo observar que los compresores están trabajando muy cerca de su capacidad máxima ya que están *seteados* para que carguen y descarguen muy cerca del valor de presión máxima de trabajo, el cual es 125 psi. Se podría hablar de un 80% y un 90% de su capacidad. Utilizando el valor nominal de capacidad al 80% se podría estimar un valor de diámetro para la tubería principal y compararlo con el diámetro ya existente.

En la ecuación 3 se presenta una fórmula para el cálculo de diámetro de una tubería:

Ecuación 3

$$D(\text{mm}) = \sqrt{\frac{Q_d (\text{litros/minuto}) \cdot 100}{4.71 \cdot P_{\text{abs}} \cdot V(\text{m/s})}}$$

donde:

Qd = caudal de diseño

Pabs = presión absoluta del sistema

V = velocidad máxima de tubería, que depende del tipo de tubería.

Como se pudo observar la ecuación anterior involucra velocidad del aire en la tubería. Como es muy difícil medir la velocidad dentro de una tubería, ciertos autores recomiendan valores máximos para diferentes tipos de tuberías. Cuanto mayor es la velocidad de circulación, tanto mayor es la pérdida de presión en el recorrido hasta el punto de aplicación, de manera que existe un límite de velocidad dependiendo del tipo de tubería que sea. En la tabla 2.4 se dan los valores máximos de velocidad.

Tabla 2.4 Velocidades máximas en tipo de tuberías

Tipo de tubería	Velocidad máxima (m/s)
Tubería principal	8
Tubería secundaria	10
Tubería de servicio	15
Tuberías de interconexión	20 a 30 m/s

Para obtener el caudal de diseño, primero se multiplicó la capacidad nominal en CFM que brinda el fabricante por el 80%, obteniendo 251.2 CFM. Para calcular la presión absoluta del sistema, se necesita el rango de presiones de carga y descarga del compresor. Anteriormente

se había realizado este cálculo dando como resultado 7.5-8.5 Bares respectivamente. La presión absoluta del sistema se calcula sumando el valor de presión de carga y 0.844 Bares, valor de presión atmosférica para la ciudad de Cartago obtenida del Anexo 5. El resultado de este cálculo da un valor de presión absoluta del sistema igual a 8,34 Bares y será el valor con el que se calcularán las tuberías.

Antes de ingresar los datos a la ecuación 3, hay que convertir los 251.2 CFM del caudal de diseño a l/min. Esto se hizo con la ayuda de la tabla de conversiones del Anexo 7.

$$251.2 \text{ CFM} \rightarrow \text{l/min} = 7113.192$$

$$D(\text{mm}) = \sqrt{\frac{7113.192 \left(\frac{\text{litros}}{\text{minuto}}\right) \times 100}{4.71 \times 8.34(\text{bar}) \times 8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}}$$

$$D(\text{mm}) = 47.57 \text{ mm}$$

Con el resultado obtenido se comprueba que el diámetro de la red principal está muy restringido para el caudal que entrega el compresor. Según el manual de aire comprimido consultado, se debe escoger el diámetro inmediatamente superior al calculado, por lo tanto de la tabla en el Anexo 8 se escoge un diámetro mínimo de 50.41mm (2”). Es importante destacar que este cálculo se hizo utilizando el caudal brindado por el compresor, y no considerando un consumo total de los equipos. Este dato podría cambiar una vez que se haga un rediseño formal de toda la red tomando en cuenta todos los consumos específicos de cada máquina y obteniendo un valor de caudal de diseño con su respectivo factor de ampliación, utilización, etc.

Otro problema que se detectó es la falta de un código de colores en las tuberías. Es muy importante atacar este problema lo antes posible, ya que es fuente de accidentes en cualquier planta de proceso. A continuación se propone un código de colores para un sistema de tuberías.

En la tabla 2.5 se presenta un código de colores que la empresa podría adoptar. Se explica detalladamente donde se utiliza cada color.

Tabla 2.5 Código de colores para sistema de tuberías

	Se usa para elementos de protección contra incendios, sistema de rociado
	Gases y ácidos tóxicos ó corrosivos.
	Agua caliente y calefacción
	Electricidad, luz, timbres, alta tensión, teléfonos, aguas negras y pluviales
	Tuberías de combustibles líquidos, gases aceites lubricantes
	Agua (fría, potable, de río).
	Entradas y salidas de corriente de ventilación y refrigeración
	Tuberías de vapor
	Tuberías de aire, alta y baja presión

En las tuberías de gran diámetro pueden reemplazarse el pintado total por el pintado de franjas del color establecido por el producto circulante.

Las franjas o grupos de franjas se pintarán a una distancia máxima de 6 metros entre sí en los tramos rectos, a cada lado de las válvulas, de las conexiones, de los cambios de dirección de la tubería y junto a los pisos, techos o paredes que atraviese ésta.

Se dejará un espacio de 100 mm entre la boca de las válvulas o conexiones y la franja correspondiente. El ancho de las franjas, en relación con el diámetro exterior de la tubería será establecido en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Especificaciones para la codificación de tuberías

Diámetro exterior (mm)	Ancho de la franja (mm)	Tamaño de las letras (mm)
19 a 32	200	13
38 a 50	200	20
63 a 150	300	32
200 a 250	620	65
250 o más	910	90

Existe un método de identificación estándar y se presenta a continuación:

- a. La identificación de los productos conducidos por las tuberías se deberá completar indicando con leyendas el nombre y/o el grado de peligrosidad de éstos.
- b. Las leyendas se pintarán directamente sobre las franjas o se adosarán a las tuberías de pequeño diámetro por medio de carteles especiales y el color de las letras será negro o blanco. El color de las letras estará acondicionado al establecimiento de un buen contraste con el color de las franjas.
- c. Cuando la tubería está contra la pared, las leyendas se pintarán sobre el lado visible desde el lugar de trabajo, si está elevada se pintarán las leyendas debajo del eje horizontal de la tubería y si ésta se encuentra apartada de las paredes se pintarán las leyendas sobre sus lados visibles.

El sentido de circulación del fluido dentro de la tubería, se podrá identificar por medio de flechas que se pintarán a cada lado de las franjas o a 100 mm de las bocas de las válvulas y sus conexiones.

2.7 Análisis de los equipos y maquinaria alimentados con aire comprimido

2.7.1 Área de Talleres

El Departamento de Mantenimiento tiene a cargo cuatro talleres donde se realizan las reparaciones de las máquinas: Taller Mecánico, Taller Automotriz, Taller Eléctrico, Taller de Carpintería.

Cada uno de estos talleres está equipado con salidas de aire comprimido para la utilización de máquinas-herramientas, o para limpieza. Por ser la edificación más reciente, sus salidas sí cuentan con los equipos de tratamiento del aire, tales como purgas automáticas y cuellos de ganso¹³.

El Taller Mecánico, está provisto de dos salidas para limpieza; cada una con su respectiva manguera de limpieza y acople. Estas salidas están denominadas con los números 4 y 5 (ver Plano A-01 para su ubicación).

El Taller Automotriz cuenta con una salida, en la que se alimenta una pistola de impacto de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

En el Taller Eléctrico, el aire se utiliza para probar las amarradoras. Según la especificación del fabricante estas amarradoras deben trabajar con una presión de 80 PSI. Se pudo apreciar que en esta salida no existe unidad de mantenimiento, por lo que se recomienda instalar un regulador para poder ajustarlo a la presión de trabajo, y así no consumir más aire del que la máquina necesita.

¹³ Cuellos de ganso: Tipo de conexión en U entre la tubería principal y el bajante que evita que el agua existente en los ductos drene hacia los equipos.

El Taller de Carpintería cuenta con una sola salida de aire pero su utilización es poca. Se utiliza sólo para limpieza. Es recomendable regular la presión de aire en esta salida ya que aquí no se necesita tanta presión para limpiar por lo que sería bueno instalar un regulador y ajustarlo a una presión menor.

2.7.2 Área de Embaladora

La construcción de este edificio es muy reciente. Se cuenta con dos salidas de aire para limpieza y una purga manual. Estas salidas están identificadas con los números del 1 al 3. Las máquinas aquí instaladas generan mucho polvo por lo que aquí sí se justifica aire para limpieza. Las salidas no tienen regulador de presión, se recomienda instalar reguladores para soplar con una menor presión y así no afectar a todo el sistema.

2.7.3 Área de corrugación

El aire utilizado en el área de corrugación representa un 27.69% del total de aire suministrado a la planta. Entre los equipos y sistemas neumáticos se tienen: bombas, frenos neumáticos, pistones de simple y doble efecto, guías de vacío, empalmadores. Varios de los equipos alimentados en el corrugador cuentan con su propio tanque de acumulación para poder sostener la presión, por ejemplo: el *Hot Foot*, cuenta con 16 pistones y 56 *airbags*¹⁴ los cuales trabajan simultáneamente por lo que necesitan mantener su presión de trabajo.

En la sección de parafinado se tienen dos salidas de aire. La salida 9 alimenta una electroválvula que controla la entrada de vapor a la parafinadora de cortina. La salida 10 se utiliza para limpieza. En esta zona no se justifica la limpieza con aire a presión ya que no hay fuentes de contaminación excesiva, por lo que se recomienda eliminar esta salida de aire.

¹⁴ Airbags: bolsas de aire que sirven para ejercer presión sobre una superficie plana por donde pasa el cartón.

Una sola salida identificada con el número 11 está disponible en la bodega de producto no conforme. Su uso es exclusivamente para limpieza. Por la extensión de esta área y por la facilidad de limpieza manual, no se considera necesario utilizar aire comprimido para limpiar.

Se observaron varias deficiencias en la tubería, accesorios y en las unidades de mantenimiento. Ninguno de los bajantes que alimentan estos equipos están dotados de cuellos de ganso por lo que es posible que el aire entre a los equipos con cierta cantidad de agua. La identificación de tuberías en esta zona fue bastante difícil. El corrugador se alimenta con tuberías de agua, vapor, goma y aire comprimido, y no existe ningún sistema de codificación de tuberías por lo que se confunden las tuberías (Figura 2.8).



1. Tuberías de aire comprimido, vapor y agua



2. Tubería de aire pintada de color rojo

Figura 2-8 Tuberías sin codificación de colores en el Área de Corrugación.

Se identificaron reguladores dañados, en posiciones difíciles de manipular, manómetros quebrados. Dentro del programa de mantenimiento preventivo que lleva la empresa no se ha incluido la revisión de la red de aire por lo que se recomienda introducir al sistema una serie de tareas y encargar a un mecánico para que realice las inspecciones.

En la sala de calderas se cuenta con dos calderas marca *Cleaver Brooks* de 350 BHP y 400 BHP. En esta sala se tiene una sola salida de aire para limpieza, definida con el número 25.

Antes se contaba con una alimentación de aire comprimido en ambas calderas en caso de que el *aire de atomización*¹⁵ fallara, entonces se abría la llave y el aire regulado servía como sustituto. Estas tuberías actualmente están condenadas, por lo que se recomienda volver a instalar este sistema redundante.

En el Cuarto de Gomas se tiene una salida de aire para limpieza a alta presión. La materia prima con que se fabrican las gomas genera mucho polvo por lo que el aire para limpieza si es de mucha utilización. En esta salida el aire de limpieza no ocupa que salga a alta presión, se recomienda instalar un regulador de presión en la salida del aire con el fin de que la presión de salida sea menor y así no afectar a todo el sistema.

2.7.4 Área de Imprentas

Es el área con mayor alimentación de aire comprimido. En total hay 35 entradas representando un 53.85% del total de aire en la red. Se alimentan imprentas, troqueladoras, *conveyors*, amarradoras, un *Pallet Staging*¹⁶ y salidas de aire para limpieza. La mayoría de los equipos se alimentan a 80 PSI con la excepción del alimentador de la *Ward 66* que necesita 100 PSI para su correcta operación.

La bodega de tintas tiene 2 salidas. La salida 26 se utiliza únicamente para limpieza. Se considera importante esta salida ya que eventualmente se utilizará para conectar alguna maquina-herramienta. La salida 27 alimenta una bomba neumática que saca la tinta del depósito de residuo de tintas a un tanque exterior.

La sección de imprentas presenta los mayores problemas con respecto a caídas de presión en el sistema. El problema se presenta cuando en alguna otra área de proceso se utilizan varias

¹⁵ Aire de atomización: aire utilizado para atomizar el búnker y con este asegurarse una mejor combustión

¹⁶ *Pallet Staging*: Máquina que tiene la función de estibar las cajas en una paleta. Ver detalles en capítulo 1

salidas de aire para limpieza. En el Área de Imprentas los equipos se ven muy afectados pues la presión de aire baja considerablemente dejando por fuera varios de los equipos neumáticos. En los siguientes apartados se describirán los problemas por pérdidas de presión con sus causas y las acciones proactivas a considerar.

Otra deficiencia que se encontró es que las tuberías no están pintadas con un código de colores estándar. Como se mencionó en el capítulo anterior el proceso de impresión es flexográfico. Se cuenta con una tubería de alimentación de agua y otra de aire comprimido hacia cada una de las imprentas. Ambas tuberías están instaladas sobre una misma canasta y al no estar pintadas con su respectivo color, verde para la tubería de agua y azul para la tubería de aire, no se pueden diferenciar.

Debajo de estas canastas están instalados paneles de potencia y control alimentados a 460 voltios, si en algún momento alguna persona mientras realiza un trabajo de mantenimiento o una reparación a las tuberías de aire comprimido, abriera por equivocación la llave de agua en vez de la de aire, el agua caería en estos paneles eléctricos ocasionando un accidente y daños severos a la persona (Figura 2.9).

Además, los bajantes de agua y aire que van por las columnas están pintados de acuerdo con el color de la columna como se muestra en la Figura 2.9. El operador de la máquina puede diferenciar las tuberías gracias a su experiencia, pero alguien externo a la empresa, o un operador reciente no podría diferenciar estas tuberías. La empresa propuso un sistema de codificación de tuberías pero no se ha implementado todavía, se recomienda ponerlo en práctica lo antes posible para evitar cualquier tipo de accidente.



1. Tuberías de agua y aire sin pintar. Mangueras de aire y agua del mismo color



2. Bajantes de agua y aire del mismo color de la columna

Figura 2-9 Problemas de codificación de tuberías en Área de Imprentas

2.7.5 Bodega de producto terminado y despacho de piña

En esta zona sólo se encuentran tres salidas, denominadas con los números 63, 64 65 y 66. La salidas 63 y 65 son purgas del sistema. La 64 es una salida de limpieza que se considera innecesaria ya que no se justifica la limpieza con aire en esta zona y la salida 65 se utiliza para inflar unas bolsas que van dentro de los contenedores para que las paletas no se golpeen. En esta área el uso del aire es muy poco. Se recomienda eliminar por completo la salida de limpieza y eliminar todas las tuberías que no se están utilizando ya que eso puede generar perdidas de presión al sistema.

2.8 Cálculo de caídas de presión en las líneas

Para poder explicar la importancia que tienen las pérdidas de presión en las líneas, es importante mencionar que para condiciones normales de funcionamiento, la mayor parte de las herramientas y equipos neumáticos están contruidos para obtener su máximo rendimiento a una presión de trabajo entre los seis y siete bares, en la misma herramienta o equipo. También hay que tener presente que la presión de aire en el compresor no es lo mismo que la presión de aire en la herramienta (en donde la fuerza neumática presta su servicio). En el apartado anterior se tomaron los datos de presión de descarga que da el fabricante de los compresores utilizados. Este valor se encuentra entre 7 y 8 bares. Normalmente para cualquier compresor la presión de descarga final se encuentra dentro de este rango, desde luego, en la práctica no es posible conseguir que toda la energía en forma de presión, se transmita íntegramente a la máquina que debe utilizarla. Pero lo que sí es posible es limitar esas pérdidas de presión a unos valores relativamente pequeños y que sean admisibles en la práctica.

2.8.1 Pérdidas de presión

Se admite una caída de presión entre el compresor y el útil no superior a un dos por ciento (2%) de la presión efectiva del compresor. También existen casos excepcionales en que las pérdidas de presión pueden llegar a un cinco por ciento (5%) de la presión efectiva del compresor. En este caso se tomará un 5% como el valor aceptable debido a las distancias que presentan las tuberías de aire.

Según estudios que se han realizado las pérdidas de presión se relacionan con varios puntos:

1. Son inversamente proporcionales a la quinta potencia del diámetro de la tubería, para un caudal de aire prefijado.
2. Directamente proporcionales a la longitud de la tubería y al cuadrado del caudal de aire libre que pasa por la tubería.
3. A medida que aumenta la velocidad de circulación del aire por las tuberías, mayor es la caída de presión en éstos, de manera que existe un límite de velocidad dependiendo del tipo de tubería que sea.

Las pérdidas de carga en las tuberías producen una pérdida de energía, debido a que el trabajo realizado por el compresor es proporcional al logaritmo del valor de la compresión; y en consecuencia, si por una deficiente instalación (longitudes muy grandes, diámetros muy reducidos por ejemplo), la presión de trabajo que pide la herramienta o equipo neumático no puede mantenerse, la potencia de las herramientas y útiles neumáticos decrece en mayor proporción que la presión, disminuyendo por consiguiente el rendimiento de los mismos.

Se tomaron las mediciones de presión sólo en acoples o tomas para aire donde existen reguladores. La caída de presión se dedujo de la resta del valor de la presión a la salida de los compresores con el valor de presión en las tomas de aire. Luego se calculó un porcentaje de caída de presión de acuerdo con la presión original a la salida de los compresores.

A los datos de porcentajes de caídas de presión reales se les restará el 5%, máximo porcentaje de caída de presión permitida, y se obtiene el porcentaje en exceso de caídas de presión.

La presión a la salida de los compresores es de 118 PSI, equivalente a 8.14 Bares (Anexo 7 para ver tabla de conversiones) medida que fue tomada directamente del campo.

Los datos de las caídas de presión se encuentran en la Tabla 2.7. Se especifican los puntos de alimentación de las máquinas y equipos. No se incluyen puntos para limpieza, ya que éstos se tratarán por aparte.

Tabla 2.7 Pérdidas de presión en tuberías medidas en el campo

# Salida	Máquina	Presión		Presión del Compresor		Caída de presión		Caída	Condición
		PSI	BAR	PSI	BAR	PSI	BAR	%	
6	Amarradora <i>Signode</i>	-	-	118	8.14	-	-	-	Instalar regulador
8	Llave de Impacto 3/4	-	-	118	8.14	-	-	-	Instalar regulador
10	Parafinadora por cortina	114	7.86	118	8.14	4	0.28	3.39%	Cambiar regulador
12	Mesas de entrega, Cuchilla Transversal, Aire limpieza	115	7.93	118	8.14	3	0.21	2.54%	Aceptable
13	<i>Razor Set</i> , Conjunto desviador de horquillas	105	7.24	118	8.14	13	0.90	11.02%	Alta caída
15	Tanque Acumulador <i>Double Backer</i>	110	7.58	118	8.14	8	0.55	6.78%	Alta caída
16	Tanque Acumulador <i>Hot Foot</i>	114	7.86	118	8.14	4	0.28	3.39%	Aceptable
17	Máquina de Goma	115	7.93	118	8.14	3	0.21	2.54%	Aceptable
18	Aplicador de rasquetas, SPL5, Guías de vacío, 2 bombas <i>coating</i>	110	7.58	118	8.14	8	0.55	6.78%	Alta caída
19	SPL4	110	7.58	118	8.14	8	0.55	6.78%	Alta caída
20	Flauta C, salida	110	7.58	118	8.14	8	0.55	6.78%	Alta caída
21	SPL3	110	7.58	118	8.14	8	0.55	6.78%	Alta caída
22	SPL2	110	7.58	118	8.14	8	0.55	6.78%	Alta caída
23	Flauta B, Tanque dosificador de goma	110	7.58	118	8.14	8	0.55	6.78%	Alta caída
24	SPL1, 1 bomba aplicador resina	110	7.58	118	8.14	8	0.55	6.78%	Alta caída
28	Bomba neumática	112	7.72	118	8.14	6	0.41	5.08%	Alta caída
29	Alimentador <i>Ward 66</i>	105	7.24	118	8.14	13	0.90	11.02%	Alta caída
30	<i>Pallet Staging</i>	106	7.31	118	8.14	12	0.83	10.17%	Alta caída
31	Alimentador <i>Ward Vieja</i>	-	-	118	8.14	-	-	-	Cambiar regulador
32	<i>Sloter Ward Vieja</i>	106	7.31	118	8.14	12	0.83	10.17%	Alta caída
33	Troqueladora <i>Ward Vieja</i>	-	-	118	8.14	-	-	-	Instalar regulador
35	Alimentación Saturno III	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
36	Color 1 Saturno III	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída

Continuación Tabla 2.7

37	Color 2 Saturno III	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
38	Color 3 Saturno III	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
39	Troqueladora Saturno III	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
40	Sistema de Goma Saturno III	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
41	Stacker, Aire Limpieza Saturno III	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
42	Alimentación Saturno 50	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
43	Color 1 Saturno 50	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
44	Color 2 Saturno 50	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
45	Color 3, Color 4 Saturno 50	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
46	Sloter Saturno 50	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
47	Troqueladora Saturno 50	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
48	Fólder Saturno 50	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
49	Stacker, Aire Limpieza Saturno 50	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
52	Alimentación <i>Curioni</i>	110	7.58	118	8.14	8	0.55	6.78%	Alta caída
54	Alimentación <i>Ward 66</i>	95	6.55	118	8.14	23	1.59	19.49%	Alta caída
55	Color 1 <i>Ward 66</i>	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
56	Color 2 <i>Ward 66</i>	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
57	Color 3 <i>Ward 66</i>	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
58	Color 4	97	6.69	118	8.14	21	1.45	17.80%	Alta caída
59	Troqueladora	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
60	Conyeyor salida <i>Ward 66</i>	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
61	Amarradora	100	6.89	118	8.14	18	1.24	15.25%	Alta caída
64	Aire Inflar		0.00	118	8.14	118	8.14	100.00%	Alta caída

En la tabla anterior se puede observar que en la mayoría de las salidas no se está logrando la presión adecuada ya que se supera la caída de presión admisible.

De un total de 46 salidas, 38 salidas superan el valor admisible de caída de presión, sólo 3 están en el valor aceptable y el resto o no tenían regulador o estaba dañado. En la figura 2.10 se observa gráficamente esta deficiencia. Es bastante crítico la cantidad de salidas con una caída de presión no permisible. Esto indica una vez más el grave problema que se presenta en

la red en cuanto a presión, ya que más del 80% de los equipos no se está asegurando un valor admisible de caída de presión.

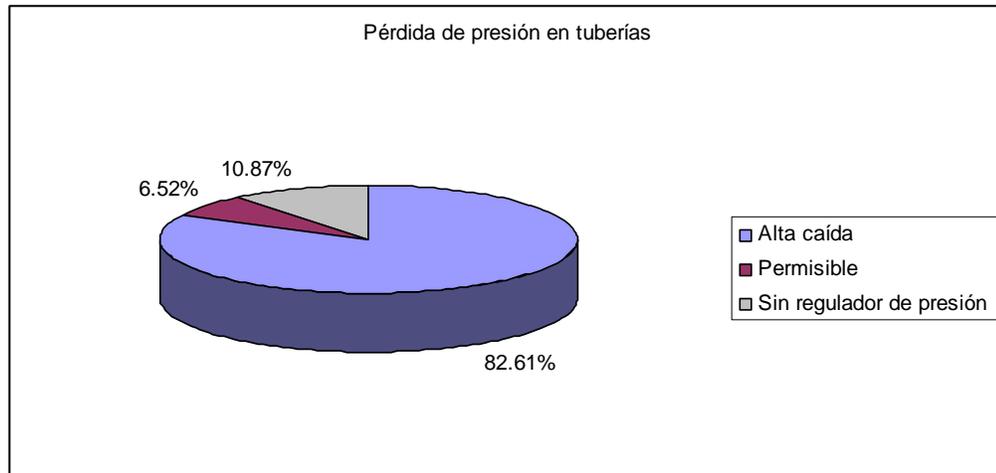


Figura 2-10 Porcentaje de pérdida de presión en medida real en cada salida de aire

Es importante hacer una valoración de la tubería ya que bajo estas condiciones de presión los sistemas y equipos no trabajan adecuadamente generando con esto una baja eficiencia en el proceso productivo.

2.8.2 Pérdidas por fugas

Las fugas o la pérdida de aire comprimido en una instalación es de volumen sorprendentemente alto, y no es fácil de descubrir dado que el aire no es visible y es inodoro, sin embargo, el costo de conservar las pérdidas por escape dentro de los límites tolerables, es muy pequeño en comparación con el costo de las pérdidas en sí. Con un gasto razonable de mantenimiento sus valores pueden ser bajos.

En la tabla 2.8 se expresa el costo en kWh/año originados por fugas con orificios de diferentes tamaños a una presión efectiva de 7 bar (100 PSI).

Tabla 2.8 Costo por año del aire fugado

Diámetro equivalente de un orificio		Fuga	Consumo en kWh/año (2200 horas por año)	Precio del KW/h para una industria	Costo en colones
mm	pulgadas	l/s	kWh/año	colones	colones
1	-	1	792	34.30	27,165 ⁰⁰
2	1/12	4.2	3300	34.30	113,190 ⁰⁰
3	1/8	9.2	7260	34.30	249,018 ⁰⁰
4	1/6	15.8	12540	34.30	430,122 ⁰⁰

Fuente: Jasec

Las pérdidas por fugas en tuberías no deben ser mayores a un 5% para una red recién instalada. Para una instalación ya existente como es el caso de la red en estudio, se espera tener un porcentaje de pérdidas máximo de un 10%.

Existe un procedimiento rápido para poder calcular un valor aproximado de pérdidas por fugas. La prueba consiste en tomar tiempos de carga y descarga del compresor, teniendo todas las máquinas fuera de operación. Se recomienda realizar esta prueba en un día que no haya producción, para poder cerrar todas las llaves que alimentan los equipos.

Procedimiento para calcular las fugas de aire en una red

- a. Cerrar las llaves de bola en la entrada de aire a las máquinas. Esto se hace con el fin de medir únicamente las fugas en tuberías.
- b. Prender el compresor o los compresores y dejar que funcione hasta que alcance la presión de descarga.
- c. Una vez que el compresor carga, la presión en la red irá lentamente decreciendo, debido a las fugas en el sistema, hasta que llega a la presión de carga y nuevamente el compresor vuelve a encender para cargar.

- d. Tomar el tiempo que dura el compresor en descargar y el tiempo que dura en cargar para varios periodos. Anote este valor. En la figura 2.10, se muestra el comportamiento de un compresor. El $t_{2,1}$ es el tiempo que dura el compresor en descargar. El $t_{1,1}$ es el tiempo que dura el compresor para cargar. Una vez que alcanza la presión de carga, el compresor arranca hasta que alcanza la presión de descarga y apaga. Se espera que el tiempo de carga sea corto y el tiempo de descarga se largo, como se muestra en la figura. Para obtener un % de pérdidas de presión se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 4

$$Q_L = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

Donde

t_1 es el promedio de todos los tiempos de carga

t_2 es e promedio de todos los tiempos de descarga

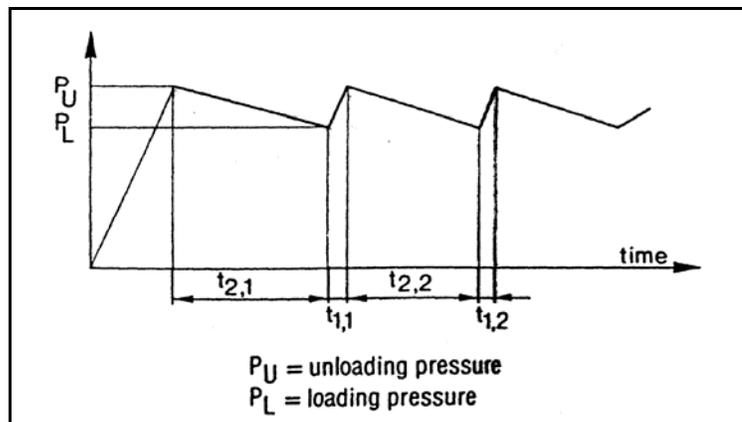


Figura 2-11 Medición de fugas de aire en la red

Resultados de las mediciones

En la tabla 2.9 se observan los datos obtenidos con las mediciones realizadas al compresor de 75 HP. Este tiene una capacidad de 314 CFM.

Tabla 2.9 Tiempos obtenidos en medición de fugas

Períodos	Tiempo de carga s	Tiempo de descarga s
1	t _{2,1} =189	t _{1,1} =1088
2	t _{2,2} =190	t _{1,2} =1085
3	t _{2,3} =192	t _{1,3} =1086

Sustituyendo estos valores en la ecuación 4

$$Q_L = \frac{\frac{(189 + 190 + 192)}{3}}{\left(\frac{1088 + 1085 + 1086}{3}\right)} = \frac{190}{1087} = 17.47\%$$

Este valor expresa un gran porcentaje de aire fugado con respecto al valor admitido. Este problema sumado a la cantidad de aire usado en acoples para limpieza, está generando una caída de presión de trabajo considerable en el sistema. Como solución más inmediata se recomienda seguir las líneas desde su inicio en el compresor hasta cada uno de los equipos, utilizando algún detergente o sustancia que produzca burbujas para detectar puntualmente los orificios por donde se escapa el aire y hacer las respectivas reparaciones.

2.9 Determinación de consumo de aire en la planta

El uso del aire comprimido en el proceso de fabricación de cartón en Corrugados del Guarco S.A, se concentra en dos aplicaciones: la corrugación e impresión del cartón. En la primera aplicación, se pudo observar que el consumo es relativamente poco. El aire se utiliza para accionar pistones de simple y doble efecto, los cuales tienen pocos ciclos de trabajo. Por ejemplo, en la máquina de goma hay un pistón que tiene la función de dar presión a los rodillos; en la sección del *Double Backer*, hay un pistón que sube y baja la banda, pero el cilindro sólo tiene uno o dos ciclos de trabajo durante toda la jornada. En esta sección es muy importante mantener la presión, por esta razón se han ido instalando pequeños tanques de acumulación para cada grupo de elementos neumáticos. Por otro lado, en el Área de Impresión, el consumo de aire es bastante alto y es muy importante mantener la presión en los sistemas. Aquí se cuenta con seis máquinas, entre imprentas y troqueladoras provistas de pistones neumáticos de simple y doble efecto, *conveyors*, y amarradoras. Esta área de proceso se encuentra muy lejos del cuarto de compresores, es por esta razón que los problemas de presión se presentan generalmente en esta zona.

Por falta de información del fabricante, fue imposible determinar el consumo específico de las máquinas. En varios de los equipos no se tenía fácil acceso como para determinar las características de los cilindros neumáticos y hacer los cálculos. Además la cantidad de elementos neumáticos y el poco tiempo para la realización de la práctica imposibilitó su cálculo.

Otra alternativa era adquirir flujómetros¹⁷ para realizar mediciones reales en el campo. Estos equipos tienen que conectarse a las líneas de aire y por recomendación de la empresa que los alquila, tiene que dejarse conectados por los menos dos días para obtener datos precisos de consumo. Al tener 64 salidas de aire en una planta que trabaja las 24 horas del día,

¹⁷ Flujómetros: equipos utilizados para medir el caudal de aire en unidades de CFM (pies cúbicos por minuto)

7 días a la semana, era muy difícil sacar tiempo para conectar los equipos de medición. La única manera de realizar estas mediciones con este tipo de flujómetros era parando las máquinas para conectarlos, esto significaba dejar de producir. Existen flujómetros los cuales hacen mediciones sin tener que conectarlos a las líneas, pero no hubo manera de conseguirlos, y comprarlos significaba un costo muy alto para la empresa.

Dado que este estudio de la red de aire comprimido no contempla un rediseño de la red, el consumo de aire no es tan importante para la realización de la práctica. Sí se recomienda en el futuro realizar un análisis detallado del consumo de aire en cada máquina ya que los datos de consumo de aire son fundamentales para realizar los cálculos de las tuberías.

2.9.1 Cálculo de consumo de aire en acoples para limpieza

Los puntos de limpieza son bastantes significativos en cuanto al gasto de aire que presenta la instalación. La planta cuenta con 19 salidas de aire para limpieza representando un 29.23% del total de salidas de la red. El cálculo de consumo en puntos de limpieza es importante ya que precisamente cuando varias de estas salidas están siendo utilizadas simultáneamente es cuando se presentan problemas de presión en las imprentas y esto afecta a todo el proceso productivo.

Para la realización del cálculo de consumo es necesaria la siguiente información.

- Presión en bares, en cada punto. Para efectos de cálculo se va a considerar una misma presión para todos los puntos, la cual en promedio es 115 PSI.
- Diámetro del orificio de salida en milímetros; tomado del campo de trabajo.
- Gasto en metros cúbicos de aire libre; tomados de una tabla (Anexo 9).

- Determinación de un coeficiente de utilización; estimado de acuerdo con las tablas y criterio de los mismos usuarios.
- Determinación de un coeficiente de simultaneidad; estimado de acuerdo con el uso observado de éstos.

La fórmula utilizada para el cálculo de estos consumos es la siguiente

Ecuación 5:

$$Q_{\text{acoples}} = q_{\text{acoples}} * C_{\text{utilización}} * C_{\text{simultaneidad}}$$

$$Q_{\text{acoples}} = \text{Consumo en los acoples, en } \frac{\text{Nm}^3}{\text{min}}, \text{ utilizados al día.}$$

$$Q_{\text{acoples}} = \text{Consumo en } \frac{\text{Nm}^3}{\text{min}}, \text{ tomados de tabla.}$$

$$C_{\text{utilización}} = \text{Coeficiente de utilización, de los sopladores.}$$

$$C_{\text{simultaneidad}} = \text{Coeficiente de simultaneidad, de los sopladores, estimado.}$$

Se tomó una presión de 8 Bares para cada una de las salidas y el diámetro del orificio del soplador es de 10 mm. De la tabla de sopladores en el Anexo 6, el Q_{acoples} dio un valor de 8.11 m^3/min y el coeficientes utilizados es 4% para el de utilización, este coeficiente se refiere a la posibilidad de uso, es decir que de 24 horas del día existe un uso de 1 hora de punto de limpieza. El coeficiente de simultaneidad se refiere a la posibilidad de usar todos los puntos disponibles a la vez, que en este caso se estimó un 35%, es decir que existe la probabilidad de que 6 puntos de limpieza se utilicen a la vez.

Sustituyendo estos valores en la ecuación 5 se obtiene un caudal de 0.11354 Nm^3/min para una sola salida. Multiplicando este valor por 19 salidas de aire para limpieza se obtiene un total de 2.15 Nm^3/min . Pasando este valor a unidades de CFM (metros cúbicos por minuto) se tiene un caudal consumido en puntos de limpieza de 76 CFM.

Comparando este valor con el valor total producido por el poder primario, se tiene que sólo en salidas de limpieza se está utilizando un 24.2% de la capacidad del compresor. Esto indica que hay un exceso de salidas de aire para limpiar lo cual efectivamente está afectando al sistema por lo que se recomienda sacar de uso las salidas innecesarias en las distintas áreas de proceso.

En la tabla 2.10 se muestra un resumen de lo descrito anteriormente.

Tabla 2.10 Cálculo de consumo en los puntos de limpieza.

# Salidas	Presión		Q acoples	Factor Simult.	Factor Utiliz.	Q	
	PSI	Bar	m ³ /min	%	%	m ³ /min	CFM
1	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
2	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
4	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
5	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
7	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
9	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
11	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
12	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
14	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
15	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
25	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
26	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
27	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
34	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
50	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
51	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
53	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
61	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
63	115	7.93	8.11	4.00%	35.00%	0.11	4
Total						2.15	76

Comparando este valor con el valor total producido por el poder primario, se tiene que sólo en salidas de limpieza se está utilizando un 24.2% de la capacidad del compresor. Esto indica que hay un exceso de salidas de aire para limpiar lo cual efectivamente está afectando al

sistema por lo que se recomienda sacar de uso las salidas innecesarias en las distintas áreas de proceso.

Para tener una idea más clara del problema existente con las salidas de aire para limpieza, se retoma de la tabla 2.2 la cual brinda las especificaciones de los compresores, los valores de potencia y capacidad del compresor más grande. El compresor de 75 HP produce un caudal de aire de 314 ACFM. Dividiendo esta capacidad entre la potencia se obtiene un valor de 4.18 CFM/HP. Este valor indica cuantos CFM se producen por cada HP que da el motor del compresor. Ahora, tomando el caudal utilizado actualmente en aire para soplar, el cual dio un valor de 72.17CFM y dividiendo entre este último dato calculado, 4,18CFM/HP, da como resultado 17.26 HP gastados en aire para soplar. Considerando el costo de la energía para producir un HP, es inconcebible que se desperdicien casi 18 HP en aire para limpiar pudiendo utilizar técnicas de limpieza más económicas que soplar con aire a presión.

Se recomienda hacer una valoración de las salidas de limpieza, ya que evidentemente están afectando al sistema. Por ejemplo en el lado de corrugación hay cuatro salidas de aire para limpiar. Una de las salidas está en la sección de *Double Backer* y prácticamente se utiliza para soplar pedazos de cartón de desecho que quedan por debajo de las mesas. Esta sección se podría limpiar con la ayuda de una escoba ya que no es necesario aire a alta presión. En esta área de proceso, con dos salidas de aire para limpieza ubicadas estratégicamente para cubrir toda la máquina, se podrían realizar ciertas actividades de limpieza que ameritan el uso de aire comprimido. Eliminado estas dos salidas se ahorrarían 2 HP, ya que del cálculo anterior cada salida de aire de limpieza consume 1 HP aproximadamente.

Por otro lado en el Área de Impresión hay también acoples de aire para limpieza innecesarios. Existen también 4 salidas de aire, de las cuales se detectaron dos totalmente innecesarias. Por ejemplo por el sector de la *Curioni 3600* hay dos salidas distanciadas, seis metros una de la otra. No hay necesidad de tener salidas tan pegadas, ya que con una sola que

se tuviera los operarios podrían limpiar sin necesidad de tener dos salidas usándose simultáneamente.

Es totalmente injustificable el hecho de limpiar con aire comprimido, ya que el costo de soplar con aire a alta presión es muy alto. Además, se sabe que la empresa va hacia un ISO 14000 y estas certificaciones no permiten la limpieza con aire comprimido ya que según para las normas ISO limpiar con aire comprimido es trasladar la basura a otro lado.

2.10 Conclusiones y recomendaciones

1. Con el levantamiento de la red se aprovechó para hacer una actualización del plano de distribución de planta lo cual genera un valor agregado a esta práctica. Para una empresa en constante crecimiento, es muy importante tener un plano lo más actualizado posible, ya que en cualquier momento se pueden hacer cambios y el plano ayuda mucho a la hora de realizar montajes y modificaciones en la planta.
2. En el plano A-01 Red de Aire Comprimido se tiene la red de distribución de aire comprimido con sus salidas enumeradas, con las especificaciones de diámetros, accesorios y dimensiones de cada tramo de tubería.
3. En el plano A-02 Distribución de Aire Comprimido, se tiene un isométrico de la red donde se pueden observar los tipos de tuberías con sus respectivas alimentaciones a los equipos y máquinas. Se especifican tipos de tuberías, diámetro, accesorios y longitud de bajantes en cada sección o área de proceso.
4. Para la red de distribución de aire comprimido se tiene un total de 66 salidas distribuidas por áreas en toda la planta. Las impresoras representan el 58.35%, el corrugador un 27.69%, los talleres con un 7.69%, la embaladora un 4.62% y la bodega de producto terminado y despacho con un 6.15%.
5. El rango de presión efectiva calculada es de 7.5-8.5 bar (110-120 PSI). Se recomienda ingresar como nueva tarea en el software de mantenimiento la verificación y ajuste periódico de este rango de presiones para evitar los ciclos de carga y descarga del compresor los cuales podrían generar desgaste mecánico y daños a su sistema eléctrico.
6. Se observó un problema en cuanto a la ventilación del cuarto de compresores. Se recomienda mandar a cotizar e instalar un sistema de ductos vertical para que los compresores succionen aire frío y más limpio del exterior y se recomienda hacerlo lo antes posible para evitar que el compresor se esté apagando. Como solución inmediata se recomienda inspeccionar y limpiar los radiadores mas seguido para evitar fallas en los compresores.

7. Con respecto al sistema de almacenamiento, después de haber comparado el volumen de los tanques con un valor calculado de acuerdo con los datos de los compresores actuales, se tiene que los tanques de almacenamiento si cumple con el volumen necesario para cumplir sus funciones.
8. Con respecto al sistema de tratamiento del aire, se cuenta con los equipos necesarios para asegurar un aire libre de agua y contaminantes a la entrada de los equipos neumáticos. La instalación de los secadores después del sistema de almacenamiento asegura que los compresores estén modulando a la misma presión de los tanques.
9. En cuanto a tubería sin uso se detectó en el Área de Bodega de Producto No Conforme y Bodega de Bobinas aproximadamente 36 metros de tubería principal que no alimenta a ningún equipo. Se recomienda eliminar de inmediato esta tubería ya que esto genera pérdidas de presión al sistema por posibles fugas en ese tramo y por resistencia del flujo de aire. Así mismo se recomienda hacer un recorrido por el corrugador y eliminar tuberías de servicio que no se están utilizando, ya que como se mencionó anteriormente esto vuelve inestable al sistema.
10. La red cuenta con un sistema muy amplio para transportar el aire. Se tiene 443m de tubería principal, 112m de tubería secundaria y 129 m de tubería de servicio.
11. Para la tubería principal se tiene un diámetro de tubería de 1¼ pulgada y se reduce hasta a ½ pulgada en otros tramos, lo cual se considera que son diámetros demasiado reducidos para el caudal de aire que entrega los compresores. Para los 314 CFM que entrega el compresor se calculó un diámetro de tubería principal mínimo de 2 pulgadas.
12. Se detectó la falta de un código de colores en las tuberías. Se recomienda implementar el código de colores y el método de identificación propuesto, ya que esta deficiencia es fuente de accidentes en cualquier planta de proceso.
13. No se cuenta con una unidad de mantenimiento en el taller eléctrico, y por lo general se conectan las amarradoras a esta salida por lo que se necesita regular el aire entre 80 y 100 PSI, que es la presión de trabajo de estas máquinas.

14. Se recomienda instalar reguladores en ciertos acoples de limpieza para regular la presión de aire de limpieza en estas salidas ya que no es necesario soplar a tanta presión para limpiar (40 psi es un buen dato). Estas salidas se encuentran en: taller de carpintería, taller eléctrico, embaladora, área de parafinadoras, cuarto de gomas y calderas.
15. Ninguno de los bajantes que alimentan las máquinas y equipos están dotados de cuellos de ganso por lo que es posible que el aire entre a los equipos con cierta cantidad de agua.
16. Se identificaron reguladores dañados, en posiciones difíciles de manipular, manómetros quebrados, principalmente en el corrugador por lo que se debe hacer un recorrido por los equipos y sustituir todos estos controles dañados.
17. Dentro del programa de mantenimiento preventivo que lleva la empresa no se ha incluido la revisión de la red de aire por lo que se recomienda introducir al software la inspección periódica de la tubería, controles y accesorios de la red de aire para evitar fallas en el sistema.
18. En el cuarto de calderas la alimentación de aire comprimido a las calderas está condenada por lo que se debe volver a instalar, ya que en cualquier momento que el aire de atomización del búnker falle, este sistema entraría a funcionar.
19. En cuanto a la caída de presión, más del 80% de las salidas están por arriba del valor de 5% de caída de presión admisible.
20. Se tiene un 17.47% de fugas en la red. Este valor expresa un gran porcentaje de aire fugado con respecto al valor admitido. Como solución más inmediata es necesario seguir las líneas desde su inicio en el compresor hasta cada uno de los equipos, utilizando algún detergente o sustancia que produzca burbujas para detectar puntualmente los orificios por donde se escapa el aire y hacer las respectivas reparaciones.
21. No se pudo determinar el consumo específico de las máquinas, ya que el tiempo de realización de la práctica era muy poco comparado al tiempo que demandaba realizar estas mediciones. Se recomienda realizar un análisis detallado del

consumo de aire en cada máquina ya que los datos de consumo de aire son fundamentales para realizar los cálculos de las tuberías.

22. Los acoples de aire para limpieza representan un 24.2% de la capacidad del compresor, es decir de 18 de los 75 HP que brinda el compresor son lanzados a la atmósfera. Se recomienda eliminar todas las salidas de aire para limpieza innecesarias, ya que esto representa un alto costo para la empresa.
23. Como recomendación general se debería rediseñar la red de aire comprimido, ya que como se anotó en los puntos anteriores existen varias deficiencias, lo cual vuelve muy ineficiente a todo el sistema.

3 Sistema de Mantenimiento Predictivo

3.1 Introducción

El objetivo primordial del mantenimiento es lograr que las máquinas operen sin problema, fundamentalmente aquéllas que son más importantes en el proceso de producción. En efecto, es más que conocido el hecho de que roturas imprevistas y catastróficas dan lugar a elevados costos por pérdida de producción y reparación.

La única estrategia que establece, el método tradicional de mantenimiento (Mantenimiento Preventivo), para evitar esas roturas es proceder a desmontajes periódicos para inspección, reparación si procede, y montaje posterior, con el inconveniente del alto costo que origina ésta.

La moderna tecnología proporciona una serie de métodos que permiten una evaluación exterior de las condiciones del equipo, sin desmontajes previos y sin afectar su funcionamiento normal. El más efectivo es el análisis de vibraciones. El mismo junto con el monitoreo de otros parámetros específicos de cada máquina, constituyen la base del Mantenimiento Predictivo y por diagnóstico (MPD)

Un buen diseño producirá bajos niveles de vibraciones pero a medida que la máquina se vaya desgastando, se asienten sus cimientos y se deformen sus componentes aparecerán sutiles cambios en las propiedades dinámicas de la máquina. Los ejes se desalínean, los rotores se desequilibran y los juegos entre las piezas aumentan. Todo esto es conveniente en un ambiente de la energía de vibración que al repartirse por la máquina, excita la resonancia y produce cargas dinámicas adicionales sobre los rodamientos. El circuito causa efecto se cierra y el equipo avanza hacia su rotura final.

La herramienta básica del Mantenimiento Predictivo es, por tanto, el análisis de vibraciones y los principios en que se sustenta son los siguientes:

- Las vibraciones de las máquinas en correcto estado de operación, presentan un nivel típico y sus espectros de frecuencia son de una forma característica, las cuales pueden considerarse como la base y el espectro patrón característico del funcionamiento normal de dichas máquinas.
- Cualquier defecto de una máquina, incluso en una fase incipiente, lleva asociado cambios en los niveles y en las formas del espectro de vibraciones, el cual puede ser perfectamente detectable mediante una medición.

El mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento basado en la medición periódica de la condición de la máquina mientras opera, utilizando instrumentos y técnicas especializadas, con el objetivo de detectar desgastes conducentes a falla y así corregirlos.

Otro aspecto que debe ser analizado cuando se piensa poner en funcionamiento el Mantenimiento Predictivo es el referente al operario que efectuará las mediciones. La importancia de este aspecto radica en el hecho palpable de que es el técnico el que usará el instrumento, interpretará los resultados y los relacionará con el componente inspeccionado.

Por consiguiente, la eficiencia con que el inspector realice su trabajo incidirá notablemente en el éxito del Mantenimiento Predictivo.

Al inspector se le debe de capacitar debidamente en el manejo de los instrumentos y deberá conocer muy bien las máquinas, en cuanto a reparaciones y funcionamiento.

3.2 *Objetivos*

3.2.1 *Objetivo General*

Establecer las bases para la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo-preventivo, centrado principalmente en el análisis de parámetros y pruebas no destructivas a los motores eléctricos.

3.2.2 *Objetivos específicos*

- Capacitación al personal de Mantenimiento-Producción sobre Mantenimiento Predictivo y elaboración de un documento formativo
- Elaboración del Sistema de Mantenimiento Predictivo siguiendo los pasos esenciales involucrados en la organización de un programa de Mantenimiento Predictivo
- Implementación del programa en el cual se dará seguimiento a los análisis que se están realizando con la introducción de otras prácticas de Mantenimiento Predictivo.
- Recomendaciones y aspectos para darle su continuidad y poder reproducirla a las otras plantas de la corporación.

3.3 *Definición del problema*

La mayoría de las máquinas que participan en el proceso de producción del cartón, son máquinas rotativas impulsadas por motores de mediano y alto caballaje y de los cuales no se cuentan con sistema de mantenimiento preventivo-predictivo. Debido a esta situación surge la

necesidad de monitorear y diagnosticar estos equipos, eliminando prácticamente la posibilidad de un desarmado e inspección periódica, y evitando una falla inesperada que obligue a parar la planta. Una parada de alguno de estos motores significaría un atraso en los pedidos, traduciéndose esto en una gran pérdida económica.

Actualmente el Departamento de Mantenimiento está desarrollando un plan piloto en el área de Análisis de Vibraciones con una empresa que le da el servicio. Lo que se pretende con este proyecto es poder dar una guía de cómo llevar a cabo un sistema de mantenimiento predictivo, dirigido al uso y control de dos aspectos a saber: parámetros de funcionamiento (temperatura, alineamiento y balanceo dinámico, desgaste, aislamiento, rodamientos, etc.) y pruebas no destructivas (Análisis de Vibraciones).

3.4 Metodología de trabajo

El mantenimiento predictivo es un método sistemático de verificación y observación de las tendencias del equipo rotativo en forma programada y regular, con el fin de determinar el estado de las máquinas sujetas deterioro.

La identificación de tendencias y el diagnóstico mediante la detección con la máquina en línea proporcionan un aviso temprano, eliminando prácticamente la necesidad de un desarmado e inspección periódicos y la posibilidad de una falla inesperada que obligue a la paralización del equipo.

Para la elaboración del programa se tomó como base una secuencia de pasos mostrado en el artículo del Anexo 10. El hecho de que la empresa estuviera desarrollando un plan piloto en el área de análisis de vibraciones ayudó mucho en el desarrollo del sistema, ya que muchas de

las personas del departamento estaban concientes de los beneficios y ventajas de implementar el programa de mantenimiento predictivo.

3.5 *Elaboración del Programa de Mantenimiento Predictivo*

3.5.1 Pasos seguidos para la elaboración de PMP¹⁸

a. Reconocimiento de la planta

Este primer paso consiste en determinar la factibilidad de establecer un PMP. Actualmente la empresa cuenta con un Sistema de Mantenimiento Preventivo bien ejecutado y los resultados durante los últimos años han sido bastante aceptables. Los índices que controla el Departamento de Mantenimiento en cuanto a cantidad de correctivo y a tiempos de parada expresan los buenos resultados que se han obtenido con el seguimiento del programa de preventivo. Es por esto, que la gerencia está decidida a pasar a ese otro nivel de mantenimiento. Hasta el momento muchos de los equipos que juegan un papel primordial para el proceso productivo no han tenido fallas importantes, pero sí se está más que convencido de que para un buen funcionamiento y durabilidad de éstos, hay que monitorearlos y diagnosticarlos constantemente razón por la cual se desea implementar el PMP.

Para poder establecer un programa de mantenimiento predictivo se debe concientizar al personal sobre la importancia del desarrollo de dicho programa. Esta comunicación debe ser tanto al departamento (supervisores, técnicos), como fuera de departamento (Gerencia General y Producción), esto con el propósito de recibir el apoyo de toda la planta. Una vez concientizado el personal se debe capacitar, en áreas como métodos para obtener mediciones

¹⁸ PMP: Programa de Mantenimiento Predictivo

de vibración y temperatura, y otros. Esta etapa no fue difícil ya que los integrantes del equipo de mantenimiento de la empresa, estuvieron muy anuentes a participar en el desarrollo de PMP. Se brindó una charla para introducir al personal sobre las prácticas de mantenimiento predictivo y se generó este documento formativo, el cual está a disposición de cualquier persona de la empresa. La gerencia de producción-mantenimiento está consciente de que para un buen desarrollo del PMP se necesita tener personal altamente capacitado para poder dar un diagnóstico y análisis de problemas en las máquinas.

b. Selección de las máquinas

El objetivo de este segundo paso es abarcar una cantidad manejable de máquinas tomando en cuenta la disponibilidad de los técnicos, los cronogramas de producción, el costo del tiempo muerto y otras variables que influyen en el proceso productivo.

El Sistema de Mantenimiento Predictivo que se está planteando en este proyecto de graduación está enfocado a monitoreo y diagnóstico de motores eléctricos.

Anteriormente por iniciativa de uno de los electricistas se quiso montar un sistema de mantenimiento preventivo a motores, enfocado principalmente a revisión de rodamientos y detección de otras fallas pero el sistema no progresó.

La empresa no cuenta con un historial de reparaciones de los motores eléctricos por lo que se prosiguió a realizar un levantamiento de todos los motores que participaran en el PMP. Se generó una lista con los datos de placa, ubicación y función que realiza. Se le hizo una ficha técnica a cada motor y se archivó para así poder llevarle un control de las reparaciones o si se cambia por completo sacarlo de la lista general. Para decidir cuáles de esos motores iban a participar en el PMP, se hizo una selección tomando en cuenta la criticidad del motor y tamaño del mismo (potencia).

En las siguientes tablas se muestran el levantamiento de los motores eléctricos que van a conformar el PMP dividido por áreas de procesos.

Tabla 3.1 Levantamiento de motores eléctricos

Área de proceso: EMBALADORA									
<i>Sección: Turbinas</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje V	Φ	Corriente A
				HP	KW				
Turbina 1	Succiona el cartón de desecho de la Impresora Saturno 50 y de la troqueladora Ward Vieja	1246912	Lincoln	50	37.30	1770	230/460	3	125/62.50
Turbina 2	Succiona el cartón de desecho de la Saturno 37 y de la Curioni 3600	707427	Lincoln	50	37.30	1765	230/440	3	124/62
Turbina 3	Succiona el cartón de desecho de la picadora	4686A1	Lincoln	60	44.76	1775	230/460	3	157/77
Turbina 4	Succiona el cartón de desecho de la impresora Ward 66	NV	NV	36	26.86	1765	230/460	3	117/58
Bomba Hidráulica A	Bombea aceite al sistema de pistón de la embaladora	NV	Marathon	20	14.92	1750	230/460	3	62/31
Bomba B	Bombea aceite al sistema de pistón de la embaladora	NV	Marathon	20	14.92	1750	230/460	3	62/31

Continuación Tabla 3.1

<i>Sección: Picadora</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		
Banda Superior		NV	Kolbach	1.5	1.12	1720	230/460	3	5.40/2.70
Banda Inferior		NV	NV	1.5	1.12	1720	230/460	3	5.40/2.70
Área de Proceso: CORRUGADOR									
<i>Sección: Cuchilla Transversal</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		
Turbina	Saca el desecho de cartón del <i>razor set</i>	3727095	Lincoln	25	18.65	1760	230/460	3	62/31
<i>Sección: Double Backer</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		
Motor Principal	Mueve el <i>double backer</i>	5CD0222 PA002A0 30	General Electric	150	111.90	1750/2000	500V	CD	240
Aire forzado principal	Enfría el motor principal	A77B590 1P	Reliance Electric	1/2	0.37	3450/2850	240/480	3	1.50/0.75
Motor rodillo limpiador de la banda	Gira el rodillo limpiador de la banda	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
<i>Sección: Rotary Shear</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		
<i>Rotary Shear</i>	Gira la cuchilla del <i>rotary shear</i>	1YAB973 5A3	Reliance Electric	5	3.73	380	180	CD	8.47
Freno <i>Rotary Shear</i>	Frena la cuchilla del <i>rotary shear</i>	G1975C0 01-3	Steams	-	-	-	208-230/460	3	0.20/.0080

Continuación Tabla 3.1

<i>Sección: Máquina de Goma</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Rodillo de Goma Superior	Gira el rodillo aplicador de goma superior	1000675-FZ	U.S Electrical Motors	5	3.73	1750/2050	180	CD	23.3
Rodillo de Goma Inferior	Gira el rodillo aplicador de goma inferior	1000683-FZ	U.S Electrical Motors	5	3.73	1750/2050	180	CD	23.3
Bomba Goma	Recircula la goma	308C002J PP3	Siemens	5	3.73	1150	230/460	3	14.70/7.32
<i>Sección: Torre Triple</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Rodillo <i>Wrap</i> PH 3	Regula la tensión del papel <i>liner</i> en el PH 3	K115746 A17	Reliance	3	2.24	-	220/440	3	9.70/4.80
Rodillo <i>Wrap</i> PH 4	Regula la tensión del papel <i>liner</i> en el PH 3	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
Rodillo <i>Wrap</i> PH 5	Regula la tensión del papel <i>liner</i> en el PH 3	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
<i>Sección: Portarollos</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Sube y baja Portarollo 10	Sube y baja el portarollos	25YH140 16A1	Reliance	7.5	5.60	1600	220/440	3	22.50/11.25
Abertura horizontal Portarollo 10	Abre y cierra los brazos del portarollos	6YH1401 6A10	Reliance	3	2.24	1060	220/440	3	11.60/5.80
Alineador Portarollo 10	Alinea el portarollos	13YH140 16A4	Reliance	1.5	1.12	1580	220/440	3	5.20/2.60

Continuación Tabla 3.1

Sube y baja Portarollo 9	Sube y baja el portarollos	25YH140 16A3	Reliance	7.5	5.60	1600	220/440	3	22.50/11.25
Abertura horizontal Portarollo 9	Abre y cierra brazos del portarollos	24YH140 16A5	Reliance	3	2.24	1060	220/440	3	11.60/5.80
Alineador Portarollo 9	Alinea el portarollos	14YH140 16A3	Reliance	1.5	1.12	1580	220/440	3	5.20/2.60
Sube y baja Portarollo 8	Sube y baja el portarollos	4805	Westinghouse	7.5	5.60	NV	220/440	3	21.20/10.60
Abertura horizontal Portarollo 8	Abre y cierra los brazos del portarollos	4801	Westinghouse	3	2.24	1155	220/440	3	9.40/4.70
Alineador Portarollo 8	Alinea el portarollos	4802	Westinghouse	1	0.75	1155	220/440	3	3.30/1.70
Sube y baja Portarollo 7	Sube y baja el portarollos	4805	Westinghouse	7.5	5.60	N.V	220/440	3	21.20/10.60
Abertura horizontal Portarollo 7	Abre y cierra los brazos del portarollos	4801	Westinghouse	3	2.24	1155	220/440	3	9.40/4.70
Alineador Portarollo 7	Alinea el portarollos	3M4813	Westinghouse	1	0.75	1155	220/440	3	3.30/1.70
Sube y baja Portarollo 6	Sube y baja el portarollos	25YH140 16A7	Reliance	7.5	5.60	1600	220/440	3	22.50/11.25
Abertura horizontal Portarollo 6	Abre y cierra los brazos del portarollos	18YH140 16A3	Reliance	3	2.24	1060	220/440	3	11.60/5.80
Alineador Portarollo 6	Alinea el portarollos	21YH140 16A4	Reliance	1.5	1.12	1580	220/440	3	5.20/2.60
Sube y baja Portarollo 5	Sube y baja el portarollos	25YH140 16A6	Reliance	7.5	5.60	1600	220/440	3	22.50/11.25
Abertura horizontal Portarollo 5	Abre y cierra los brazos del portarollos	17YH140 16A4	Reliance	3	2.24	1060	220/440	3	11.60/5.80
Alineador Portarollo 5	Alinea el portarollos	21YH140 16A3	Reliance	1.5	1.12	1580	220/440	3	5.20/2.60
Sube y baja Portarollo 4	Sube y baja el portarollos	20YH140 16A6	Reliance	7.5	5.60	1600	220/440	3	22.50/11.25
Abertura horizontal Portarollo 4	Abre y cierra los brazos del portarollos	23YH140 16A1	Reliance	3	2.24	1060	220/440	3	11.60/5.80
Alineador Portarollo 4	Alinea el portarollos	21YH140 16A1	Reliance	1.5	1.12	1580	220/440	3	5.20/2.60

Continuación Tabla 3.1

Sube y baja Portarrollos 3	Sube y baja el portarrollos	25YH140 16A5	Reliance	7.5	5.60	1600	220/440	3	22.50/11.25
Abertura horizontal Portarrollos 3	Abre y cierra los brazos del portarrollos	23YH140 16A3	Reliance	3	2.24	1060	220/440	3	11.60/5.80
Alineador Portarrollos 3	Alinea el portarrollos	13YH140 16A1	Reliance	1.5	1.12	1580	220/440	3	5.20/2.60
Sube y baja Portarrollos 2	Sube y baja el portarrollos	1-5N2184	Westing house	7.5	5.60	1640	220/440	3	21.20/10.60
Abertura horizontal Portarrollos 2	Abre y cierra los brazos del portarrollos	568721	US Motors	3	2.24	1200	220/440	3	8.60/4.30
Alineador Portarrollos 2	Alinea el portarrollos	4802	Westing house	1	0.75	1155	220/440	3	3.30/1.70
Sube y baja Portarrollos 1	Sube y baja el portarrollos	3-5N2184	Westing house	7.5	5.60	1640	220/440	3	21.20/10.60
Abertura horizontal Portarrollos 1	Abre y cierra los brazos del portarrollos	4801	Westing house	3	2.24	1165	220/440	3	9.4/4.7
Alineador Portarrollos 1	Alinea el portarrollos	2-3N4013	Westing house	1	0.75	1155	220/440	3	3.30/1.70
<i>Sección: Splicers</i>									
<i>SPLICER 5</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Motor Empuja	Ayuda a empujar el cabezal	M3665T	Baldor	5.00	3.73	1725	208-230/460	3	15-13.50/6.60
Motor Cabezal Portarrollos #10	Mueve el cabezal para tensar el papel	35A06-1272	Baldor	1	0.75	1140	208-230/460	3	3.60-3.40/1.70
Motor Cabezal Portarrollos #9	Mueve el cabezal para tensar el papel	35A01-1272	Baldor	1	0.75	1140	208-230/460	3	3.60-3.40/1.70

Continuación Tabla 3.1

<i>SPLICER 4</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Motor Cabezal Portarrollos #8	Mueve el cabezal para tensar el papel	35A06-1272	Baldor	1	0.75	1140	208-230/460	3	3.60-3.40/1.70
Motor Cabezal Portarrollos #7	Mueve el cabezal para tensar el papel	35A01-1272	Baldor	1	0.75	1140	208-230/460	3	3.60-3.40/1.70
<i>SPLICER 3</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Motor Cabezal Portarrollos #6	Mueve el cabezal para tensar el papel	35A06-1272	Baldor	1	0.75	1140	208-230/460	3	3.60-3.40/1.70
Motor Cabezal Portarrollos #5	Mueve el cabezal para tensar el papel	35A01-1272	Baldor	1	0.75	1140	208-230/460	3	3.60-3.40/1.70
<i>SPLICER 2</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Motor Cabezal Portarrollos #4	Mueve el cabezal para tensar el papel	35A06-1272	Baldor	1	0.75	1140	208-230/460	3	3.60-3.40/1.70
Motor Cabezal Portarrollos #3	Mueve el cabezal para tensar el papel	35A01-1272	Baldor	1	0.75	1140	208-230/460	3	3.60-3.40/1.70
<i>SPLICER 1</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Motor Cabezal Portarrollos #2	Mueve el cabezal para tensar el papel	35A06-1272	Baldor	1	0.75	1140	208-230/460	3	3.60-3.40/1.70

Continuación Tabla 3.1

Motor Cabezal Portarrollos #1	Mueve el cabezal para tensar el papel	35A01-1272	Baldor	1	0.75	1140	208-230/460	3	3.60-3.40/1.70
<i>Guía Puente CRITTENDEN</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Ajuste Guía Superior	Mantener el corrugado por una cara alineado en el nivel superior	C4T17DC46F	Lesson	1/2	0.37	1725	208-230/460	3	1.80-1.80/0.90
Ajuste Guía Inferior	Mantener el corrugado por una cara alineado	C4T17DC46F	Lesson	1/2	0.37	1725	230/460	3	12.40/6.20
Turbina de succión	Succiona el corrugado por una cara para darle tensión	4.3961E10	Lincoln	5	3.73	3485	230/460	3	12.40/6.20
<i>Flauta C</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Motor Principal	Transmite la potencia a la flauta	T28S2303K-TU	Reliance	75	55.95	1750/2100	200	C.D	127
<i>Blower</i> Motor Principal	Enfría el motor principal de la flauta	B77B720008-QU	Reliance	3/4	0.56	3450	240/480	3	2.60/1.30
Rodillo de Goma	Mantiene el rodillo girando cuando el corrugador se detiene	P56H1441H	Reliance	1	0.75	1725	208-230/460-480	3	3.4-3.4/1.7-1.8
<i>Conveyor</i> Vertical	Mueve el conveyor vertical que transporta el cartón	T21S0201F-RH	Reliance	5	3.73	1750/2300	500	C.D	9

Continuación Tabla 3.1

<i>Blower Conveyor Vertical</i>	Enfría el motor del conveyor vertical	A67B590 1P	Reliance	1/2	0.37	3450	220/480	3	1.50/0.75
Bomba goma	Bombea la goma de la pila al dosificador	51-303-082	Siemens	2		1100	230/460	3	6.24/3.12
Drive PC 2	Gira el PC2	BVN184T HTL7726 FFL	Marathon	5	3.73	1765	230/460	3	8.40/4.20
Rodillo Wrap PC2	Regula la tensión del papel <i>medium</i> en el PC 2	82623	Master	3	2.24	1725/1425	208/220	3	2.60/1.80
Rodillo Wrap PH2	Regula la tensión del papel <i>liner</i> en el PH2	8262	Reliance	3	2.24	1725	208/220	3	2.60/1.30
Bomba parafina	Trasiega la parafina del tanque al sistema PROFERO	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
Agitador	Agitar la parafina en el tanque	3GVA06-2002-B5A	ABB Motors	1/3	0.25	1650	440/480 Y 250/280 Δ	3	0.5/.46 0.88/0.78
Sistema PROFERO	Mueve el rodillo aplicador de parafina								
<i>Flauta B</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Motor Principal	Transmite la potencia a la flauta	B328ATZ	Reliance	150	111.90	1750/2100	500	C.D	125
<i>Blower Motor Principal</i>	Enfría el motor principal de la flauta	B77B720 008-YU	Reliance	3/4		3450	240/480	23	2.60/1.30

Continuación Tabla 3.1

Rodillo de Goma	Mantiene el rodillo aplicador de goma girando cuando el corrugador se detiene	NV	General Electric		NV	NV	NV	NV	NV
Conveyor Vertical	Mueve el <i>conveyor</i> vertical que transporta el cartón	SC2113A TZ	Reliance	5		1750/2300	500	CD	9
Bomba goma	Bombea la goma de la pila al dosificador	51-303-069	Siemens	3		1760	230/460	3	8.26/4.13
Drive PC 1	Gira el PC1	BVN184T HTL7726 FFL	Marathon	5	3.73	1765	460	3	7
Rodillo <i>Wrap</i> PC1	Regula la tensión del papel <i>liner</i> en el PC1	374319-M1	Reliance	1	0.75	1170	220/440	3	3.20/1.60
Rodillo <i>Wrap</i> PH1	Regula la tensión del papel <i>liner</i> en el PH1	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
Lubricador	Lubrica los rodamientos de los rodillos corrugadores , de presión y los <i>preheaters</i> pequeños	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
Bomba parafina	Trasiega la parafina del tanque al sistema PROFERO	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
Agitador	Agitar la parafina en el tanque	3GVA06-2002-B5A	ABB Motors	1/3	0.25	1650	440/480 Y 250/280 Δ	3	0.5/.46 0.88/0.78

Continuación Tabla 3.1

Sistema PROFERO	Mueve el rodillo aplicador de parafina								
Torre de enfriamiento									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
<i>Blower</i>		FBNV-D	Tatung	1/4	0.19	1130	208-230/460	3	1.47-1.33/0.67
Moto Bomba		NV	Jacuzzi	NV	NV	NV	NV	NV	NV
<i>Calderas</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Motor Bomba Bunker	Bombea bunker al tanque	P2154905	Reliancce	5	3.73	1170	230/460	3	14.60/7.30
Motor Bomba Baviera 1	Bombea agua caliente del tanque de condensados a la caldera	NV	Siemens	17	12.60	1755	440	3	21.80
Motor Bomba Baviera 2	Bombea agua caliente del tanque de condensados a la caldera	NV	Siemens	17	12.60	1760	440	3	21.90
Bomba Agua Vertical 1	Bombea agua a la caldera	39L075W 639G1	Baldor	25	18.65	3525	220/460	3	59/29.50
Bomba Agua 2	Bombea agua a la caldera	N254T17 FB13B	Lesson	15	11.19	1785	208-230/460	3	39.20-36.60/18.13
<i>Blower Aire Secundario Caldera 350BHP</i>	Brinda el aire de la combustión a la caldera	Frame 215T-D	US Electrical Motor	15	11.19	3485	230/460	3	33/19
<i>Blower Aire Secundario Caldera 400BHP</i>	Brinda el aire de la combustión a la caldera	3987486	US Electrical Motor	20	14.92	3600	208-220/440	3	54-51/25.50

Continuación Tabla 3.1

Motor Bomba Bunker Caldera 400 BHP	Bombea bunker del tanque pequeño a la caldera	B0014F4F 2A4	Toshiba	1	0.75	1735	230/460	3	3.40/1.70
Motor Bomba Bunker Caldera 350 BHP	Bombea bunker del tanque pequeño a la caldera	C143T17 FTLE	Lesson	1	0.75	1740	208-230/460	3	3.60-3.80/1.90
Motor Bomba Tanque Dosificador químicos	Suplir de agua tratada al tanque de agua de la caldera	T71B4	Motovario	1/2	0.37	1700/1710	230 Δ / 460Y	3	1.70/1.10
Cuarto de gomas									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Motor Bomba BG1.	Bombea goma del tanque primario al tanque secundario	Frame 182T	Siemens	1.5	1.12	1160	230/460	3	5.44/2.12
Motor Bomba BG2.	Bombea goma del tanque secundario al tanque principal	Frame 184T	Siemens	5	3.73	1740	230/460	3	13.40/6.72
Motor Bomba BG3.	Bombea la goma del tanque principal al dosificador de goma en el corrugador	25G20181 015G3	Reliance	5	3.73	1730	230/460	3	14.00/7.00
Motor Bomba BG4.	Bombea la goma del tanque principal al dosificador de goma en el corrugador	NV	Siemens	5	3.73	1150	230/460	3	14.70/7.37

Continuación Tabla 3.1

Agitador Tanque 1	Agita la mezcla en el tanque 1	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
Agitador Tanque 2	Agita la mezcla en el tanque 2	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
Motor Bomba calentamiento agua para tanque 1	Bombea agua caliente al serpentín del tanque 1	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
Motor Bomba calentamiento agua para tanque 2	Bombea agua caliente al serpentín del tanque 2	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
Área de Proceso: BOMBEO									
Cuarto de Bombas 1									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Bomba Filtros	Bombea agua del tanque sucio y la pasa por los filtros al tanque limpio	CP700C	Pedrollo	7.5	5.60	3450	440/220	3	3.50/24
Bomba Alimentación a planta	Bombea agua del tanque limpio a la planta	C538	Jacuzzi	7.5	5.60	3480	208-230/460	3	21.4-19.60/9.80
Cuarto de bombas 2									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Bomba Agua Oficinas y Baños	Bombea agua a las oficinas y baños	2CP40180C	Pedrollo	5.5	4.10	3450	220/460	3	17/9.80

Continuación Tabla 3.1

Área de Proceso: PARAFINADORAS									
<i>Parafinadora por cascada</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Motor Bomba Aceite	Bombea aceite caliente al serpentín del tanque de parafina	5K184AL 217	General Electric	5	3.73	1745	230/460	3	14.2/7.1
Motor Bomba Parafina	Bombea parafina del tanque de parafina a la máquina	Frame 06807	NV	3	2.24	1745	220/460	3	2.90/1.60
Motor Agitador Filtro	Agita la parafina para que no se atasque en el filtro	NV	NV	NV	NV	NV	NV	3	NV
Motor Banda Intermedia	Mueve la banda intermedia que transporta el cartón	B2133026	Reliance	7.5	5.60	1755	208-230/460	3	21.20-19.20/9.30
Motor Banda Salida	Mueve la banda de salida que transporta el cartón	C145T17 FB1F	Lesson	1.5	1.12	1740	208-230/460	3	5.0/2.50
Motor bomba hidráulica	Bombea aceite hidráulico del tanque acumulador a la máquina	P21J0011 A	Reliance	7.5	5.60	1760	230/460	3	21/10.5
Motor de la Turbina succión	Succiona el cartón	V10V260 R100F	U.S Electrical Motor	5	3.73	1725	208-230/460	3	15.2-14.0/7.0

Continuación Tabla 3.1

<i>Parafinadora por cortina</i>									
Motor	Función	Serie	Marca	Potencia		RPM	Voltaje	Φ	Corriente
				HP	KW		V		A
Bomba	Bombean parafina del tanque de parafina a la máquina	A909AV0 5V099R0 22P	Unimount	5	3.73	1165	230/460	3	20.00 /8.00
Bomba	Bombean parafina del tanque de parafina a la máquina	A909AV1 2V297R0 02F	Unimount	5	3.73	1165	230/460	3	20.00/8.00

c. Selección de las técnicas óptimas para la verificación de la condición

Una vez seleccionados los motores se procedió a elegir las técnicas óptimas para el aplicarles mantenimiento predictivo. En este punto se da un parámetro para efectuar las mediciones, el cual indique la condición de la máquina y el progreso de las fallas. Luego se determina cómo se medirán esos parámetros y la selección de los instrumentos. Un ejemplo de es el siguiente: Se desea hacer un análisis de vibraciones al motor principal de 150 HP del *Double Backer*¹⁹ para ver el estado de sus rodamientos. Se contrató a una empresa especialista en mediciones de vibraciones y balanceo dinámico que realizará las mediciones de campo respectivas y se utilizará un equipo para realizar análisis de vibraciones. En este caso el parámetro de medición es vibración.

Posteriormente se estima el tiempo entre cada medición, este lapso debe darse en un periodo útil de detección de falla, determinando así la frecuencia de monitoreo, además se deben determinar los puntos de la máquina de mayor importancia para poder detectar los defectos tempranamente. Una vez determinados los puntos antes descritos, se establece el programa de inspecciones y un sistema de recolección de datos.

¹⁹ Para entender esta sección de la máquina refiérase al apartado 1.3.3

d. Implantación del sistema de mantenimiento predictivo

Una vez establecidas las técnicas óptimas para la verificación de cada unidad de la planta, las éstas son integradas en un programa racional que comprende:

- La definición de cronogramas de inspección.
- El diseño de un sistema sencillo para manejo de datos.
- Recopilación de datos.
- Registro de datos.
- Análisis de datos.
- Redacción y presentación de informes.
- Programa de entrenamiento e instrucción de personal.

Un proceso muy importante para poder implementar un programa de mantenimiento predictivo es establecer medidas patrones que sirvan de punto de comparación del equipo. Esto con el objetivo de poder comparar las mediciones tomadas contra límites aceptables preestablecidos.

Una vez tomadas las mediciones y comparadas con los patrones se procede a analizar la condición del equipo. El objetivo es confirmar si existen fallas y poder ejecutar un diagnóstico y pronóstico de las éstas, su localización, la severidad de la ésta. Una vez analizada la falla se determina la acción a tomar, si es crítica se tomarán acciones correctivas, investigando la causa de la misma.

A continuación, se indicarán los aspectos que hay que tomar en cuenta cuando se analizan las causas de una condición anormal, en los monitoreos que se realizarán a los motores eléctricos de la planta de proceso, por lo tanto si se observa un comportamiento anormal de alguna gráfica u otra se podrá concluir cuál es el principio de tal comportamiento.

3.6 Parámetros a medir en motores eléctricos para la obtención de tendencias

3.6.1 Causas de fallas en motores eléctricos

Antes de definir los parámetros a medir en los motores, es importante estudiar causas de fallas en motores eléctricos, muchas de las cuales se pueden evitar con un buen mantenimiento.

Los orígenes de los problemas de un motor suelen estar comprendidos en una de las siguientes categorías:

- Condiciones ambientales adversas.
- Selección o aplicación incorrectas.
- Instalación inadecuada.
- Desperfectos mecánicos.
- Fallas eléctricas.
- Desequilibrio de voltaje.
- Mantenimiento impropio.

Condiciones ambientales adversas

Los motores deben funcionar dentro de la variación límite de su temperatura indicada en su placa de identificación. Por cada 10°C de aumento de la temperatura de operación del motor por encima de la nominal, la duración del aislamiento se reduce a la mitad.

Por ende es importante localizar y eliminar otras fuentes de aumento de temperatura, como la desalineación, sobrecarga, voltaje incorrecto y muchas otras. Las condiciones ambientales debido a la presencia de vapores corrosivos, sal suspendida en el aire y suciedad y otros contaminantes en exceso.

La humedad es otra causa común en fallas de motores. Si se condensa en la superficie del aislamiento por cambios de temperatura o por contacto con agua, dicha superficie se volverá altamente conductora, se dañará y producirá la falla inmediata del motor.

Selección o aplicación incorrecta del motor

Es esencial seleccionar el tamaño y tipo correcto de motor para la carga, ya que un ciclo severo de trabajo podría ocasionar una falla prematura. La marcha irregular, el frenado por contramarcha (inversión) y un prolongado tiempo de aceleración hacen que los motores trabajen a velocidad más baja que la normal. Debido a que los motores sometidos a este ciclo de servicio toman corrientes muy intensas en el arranque, éstas producen a la vez calentamiento excesivo.

Instalación inadecuada

Si los pernos de montaje no son de la medida correcta o no están bien apretados, puede ocurrir una desalineación y vibraciones que ocasionarán daños en los rodamientos y el eje, y, en un momento dado, la quemadura de devanados. Las placas de base de acero, de los cimientos deben tener suficiente resistencia para soportar los paros y arranques, además la carga impulsada, debe estar bien alineada para evitar la vibración excesiva. En la Figura 3.1 se puede observar una mala instalación en una de las turbinas de la *Ward 66*. Este problema se detectó durante un análisis de vibraciones realizado a la turbina. Ya se tomó una medida correctiva para este problema.



Figura 3-1 Falta de pernos en base de Turbina 4

Desperfectos mecánicos

Una carga excesiva puede dañar con rapidez un motor ya que el motor consumirá más corriente e incrementará su temperatura. Si la corriente del motor excede del amperaje nominal a plena carga, aunque sea por un breve tiempo, el rápido sobrecalentamiento reducirá la duración del motor.

Las fallas de los cojinetes se encuentran entre las más comunes en cualquier motor. Se calcula que casi el 50% de las quemaduras de motores se deben a un cojinete dañado, por consiguiente es importante el análisis de vibraciones.

La desalineación entre el motor y su carga en acoplamientos, engranajes, poleas y bandas es otra causa de falla mecánica.

Fallas eléctricas

Si el voltaje de suministro es incorrecto o tiene variaciones notables, ocurrirá una avería prematura del motor. El bajo voltaje hace que la corriente sea mayor que la normal. Si la reducción en la tensión aplicada es considerable, el exceso de corriente producirá sobrecalentamiento del motor.

Un alto voltaje de alimentación para el motor reduce las pérdidas en el cobre, pero el flujo magnético más intenso ocasiona mayores pérdidas en el hierro.

Un pequeño incremento en el voltaje de suministro podría reducir el consumo de corriente, sin embargo, un aumento del orden de 10%, o más respecto al valor de la placa producirá saturación del hierro y una intensificación considerable en la corriente, con el consecuente sobrecalentamiento perjudicial del motor.

Desbalances de tensiones en motores 3φ

Los voltajes trifásicos desequilibrados o desbalanceados pueden ocasionar una grave alteración en la corriente, que puede producir un rápido sobrecalentamiento del motor.

El desbalance de tensiones indica qué tanto se calienta un motor trifásico cuando opera en desbalance de tensiones. La fórmula para calcular el % de incremento de temperatura es:

$$\% \text{ Adicional de incremento de temperatura} = 2 \times (\% \text{Desbalance})^2$$

Por ejemplo si un motor opera con un desbalance de 3.5%, experimenta un incremento de temperatura de

$$\%Incremento = 2 \times (3,5)^2 = 25\%$$

Por tanto, cada 10°C de incremento en la temperatura acorta la vida del motor a la mitad. Es necesario instalar una protección contra este problema, para lo cual suelen ser adecuados los relevadores de sobrecarga.

Mantenimiento impropio

El buen mantenimiento evita, o al menos retrasa una posible falla del motor. Es responsabilidad de los técnicos velar por el cumplimiento eficaz del mantenimiento preventivo- predictivo que se ha establecido para los motores.

A continuación se muestra una tabla en la que se relacionan las principales causas de mal funcionamiento de motores y el porcentaje con que éstos ocurren.

Tabla 3.2 Causas principales de mal funcionamiento en motores eléctricos

Causas	Porcentaje (%)
Sobrecarga	30
Operación en una sola fase	14
Contaminantes	19
Largo tiempo de uso	10
Averías en rodamientos	13
Fallas en el rotor	5
Diversas	9
Base: 9000 casos de fallas considerados en el estudio realizado por la Electrical Research Association (ERA) de Leatherhead, Gran Bretaña	

3.6.2 Tareas de Mantenimiento Preventivo-Predictivo a motores eléctricos

La suciedad, calor, humedad y vibraciones son los peores enemigos del equipo eléctrico, y pueden ocasionar graves daños en el aislamiento, rodamientos, contactos y muchos elementos móviles. Por ello, la base del programa de mantenimiento de motores es una cuidadosa inspección acompañada de pruebas de resistencia de aislamiento.

Un mantenimiento y operación adecuados son la clave para mantener los motores en óptimas condiciones, en éste se debe incluir:

- Lubricación
- Limpieza
- Mediciones para obtener tendencias. Mantenimiento Predictivo

Esto se debe llevar a cabo con el debido cuidado para obtener excelentes resultados.

Lubricación (Grasas)

Un aspecto que debe considerarse cuidadosamente al estudiar una aplicación de rodamientos es la grasa que se va a utilizar para la lubricación. Hay grasa de uso general que puede satisfacer los requisitos de la mayor parte de las aplicaciones, pero existen casos especiales que pueden requerir una grasa con mayor grado de penetración o mayor resistencia a la temperatura. Se tienen siete grados de grasas, clasificadas conforme a su penetración para uso en rodamientos. Los grados van del 000 al 6, y el más utilizado para rodamientos es el 2.

En el caso de Corrugados del Guarco, el engrase de rodamientos en motores no tiene mucho control. Se ha detectado exceso de grasa en rodamientos, pudiendo ser ésta una causa

de falla en estos elementos. Se han ido introduciendo en el Software nuevas tareas de lubricación con frecuencias establecidas, para que los técnicos apliquen la grasa sólo cuando se genere la orden de trabajo respetando las frecuencias de aplicación.

Limpieza

Los pasajes del motor deben estar limpios, para que de esta manera se pueda disipar calor. Para motores sellados y enfriados por abanico se deben mantener las aletas libres de suciedad, ya que es muy importante asegurarse de que el motor tenga una ventilación adecuada para evitar su sobrecalentamiento.

Se espera introducir nuevas tareas de limpieza, ya que actualmente no se están realizando. Sólo se realiza limpieza de motores cuando se mandan a reparar o cuando se detecta una falla. El proceso de fabricación de cartón genera mucho polvo por lo que es indispensable que todos los equipos, incluyendo los motores eléctricos se estén limpiando.

Mediciones para obtener tendencias. Mantenimiento Predictivo

Pruebas eléctricas

El departamento de Mantenimiento cuenta con un *MegOhmMeter FLUKE*, el cual es un equipo de comprobación de parámetros eléctricos a motores. En el Anexo 11 se presenta una descripción de este equipo). La empresa lo adquirió recientemente con el objetivo de realizar mediciones frecuentes, pero como no se ha establecido un mantenimiento preventivo-predictivo a motores eléctricos, sólo se está utilizando en el momento de una falla para tomar la decisión de cambiar el aislamiento. Ahora con la implementación del PMP se espera realizar mediciones a los motores que son indispensables en el proceso productivo. Se generará una nueva tarea de inspección en el Software para Mantenimiento que utiliza la

empresa y se completará un historial de reparaciones una vez que se comience con las mediciones. El *MegOhmMeter Fluke*, es un equipo muy completo ya que se pueden realizar ciertas mediciones eléctricas, tales como: tensión de comprobación, comprobación *Ramp*, Índice de polarización, Índice de absorción dieléctrica, y capacitancia.

Una de las mayores ventajas del *MegOhmMeter* es que cuenta con un temporizador de comprobación y almacenamiento de los resultados de comprobación con rótulo de ID configurable por el usuario, por lo que se puede llevar un historial de datos a cada motor ya que cuenta con un puerto infrarrojo para descargar la información recopilada a una PC y procesarla. Se incluye un software con el cual se pueden graficar los datos y ver las tendencias y comportamientos de los motores. A continuación una descripción de cada una de las comprobaciones que se desean implementar:

a. Tensión de comprobación

Es importante comprobar la tensión de los motores cada cierto tiempo ya que como se mencionó anteriormente si el voltaje de suministro es incorrecto o tiene variaciones notables, ocurrirá una avería prematura del motor. El *MegOhmMeter* tiene una función para poder realizar una comprobación de tensión.

b. Pruebas de resistencia de aislamiento

El aislamiento es el “corazón” de un motor eléctrico, es un elemento importante y tiene un gran efecto en la duración y el historial de mantenimiento de la máquina. Cuando el aislamiento falla, el motor queda inutilizado. La prueba de resistencia de aislamiento es muy importante para mantener en marcha correcta los equipos.

Funciones del aislamiento

Las funciones básicas del sistema aislante en los motores son separar, con seguridad, los componentes de conducción eléctrica entre sí y proteger contra agentes ambientales nocivos como polvo, productos químicos y otros, además de calor y vibraciones.

Entre los factores a considerar para seleccionar el aislamiento necesario están:

- La temperatura ambiental elevada (más de 40°C del aire que rodea el motor) produce el deterioro y envejecimiento acelerado. También puede reducir la viscosidad de la grasa de los rodamientos lo cual afecta la lubricación.
- Los agentes corrosivos químicos carcomen el aislamiento y las piezas descubiertas de metal en las superficies de entrehierros, rodamientos y ejes y con el tiempo produce mal funcionamiento
- Los materiales abrasivos como arena, limaduras y polvo erosionan los revestimientos protectores y las superficies descubiertas y producen ralladuras graves en los cojinetes y desgaste de conmutador y anillos.
- El polvo, la suciedad pueden depositarse en componentes críticos del motor y obstruir los conductos de ventilación, con lo cual se reduce la disipación de calor.
- Una elevada humedad ambiental produce cortocircuitos en los devanados y herrumbre en las piezas metálicas.
- El maltrato mecánico como golpes y vibraciones fuertes hacen que las patas de montaje, carcazas, ejes y soportes se debiliten o rompan. También provocan traqueteo en escobillas, fatiga en las conexiones de terminales y daños de rodamientos.

Aunque hay consideraciones mecánicas y ambientales que influyen en la vida útil del sistema de aislamiento de un motor, el principal factor limitante es el calor. La duración de un aislamiento depende de la intensidad y el tiempo de presencia del calor al cual está expuesto.

Para determinar la vida útil de un motor en una aplicación específica, la regla empírica de la industria es que por cada 10°C de aumento en la temperatura la duración se reduce a la mitad y se duplica por cada disminución de 10°C.

c. Pruebas de índice de polarización

La prueba de Índice de polarización (I-P) sirve para detectar contaminación que podría dañar seriamente los bobinados del motor y acortar su vida.

El procedimiento para desarrollar esta prueba es el siguiente:

1. Aplíquese una tensión constante de 500 VDC entre los bobinados y la carcasa por 10 minutos utilizando el *MegOhmMeter*.
2. Anote el valor de la resistencia (R1) después de 1 minuto.
3. Vuelva a tomar el valor después de 10 minutos (R10).
4. El valor del índice de polarización será $R10/R1$.
5. El valor del índice de polarización será mayor a 2, si no:
 - Limpiar los bobinados.
 - Hornearlos y volver a medir.
 - Si continúa dando lectura menor a 2 ==> Rebobinado.

d. Pruebas de Índice de absorción dieléctrica

Como parte de la comprobación de aislamiento, el medidor mide y almacena el de índice de absorción dieléctrica (DAR, por sus siglas en inglés), cuando corresponda. Por definición, una prueba DAR demora un minuto en realizarse, por lo tanto, cuando una comprobación de aislamiento dura un minuto o más, la comprobación DAR se incluye en los resultados. Estos resultados se pueden ver en pantalla durante una comprobación.

El campo se identifica mediante DAR

$$\text{DAR} = \frac{R \times 1 \text{ min}}{R \times 30 \text{ sec}}$$

e. Capacitancia

El medidor también mide y almacena el valor de capacitancia cuando se comprueba el aislamiento. Los resultados se pueden ver en la pantalla durante cualquier comprobación. Este campo se identifica mediante C.

Pruebas mecánicas

a. Análisis de Vibraciones

Esta técnica consiste en un procedimiento en dos etapas que involucran la adquisición e interpretación de datos relacionados con la vibración de la maquinaria. Su finalidad es poder determinar con exactitud las condiciones mecánicas de una máquina y señalar con precisión los eventuales defectos específicos mecánicos o funcionales. En el Anexo 12 se da una descripción detallada de esta técnica.

El departamento de Mantenimiento está desarrollando un plan piloto en el área de análisis de vibraciones mecánicas. Se están realizando mediciones a equipos básicos en el proceso productivo tales como: abanicos de las turbinas de succión de papel, motor principal de *Double Backer*, los motores principales, transmisiones y rodamientos de los rodillos de las flautas.

La idea de implementar este plan piloto surgió ya que en algún momento se comenzaron a generar muchos defectos en el cartón y en consecuencia los operarios y supervisores del corrugador cargaban estos defectos a fallas en los rodamientos y ejes desbalanceados en las flautas. Para poder descartar problemas en los rodamientos se prosiguió a cambiarlos, y se varió el tipo de grasa por una con mejores propiedades. Una vez tomadas estas acciones proactivas, se inició el análisis de vibraciones en estos equipos y hasta el momento han pasado seis meses y siguen funcionando correctamente según los informe de la empresa que brinda el servicio.

Después de observar el procedimiento de medición de vibraciones que se lleva en la empresa se detectó un inconveniente, y es en cuanto a la supervisión en el momento que esta empresa realiza las mediciones. Se recomienda asignar a una persona que se encargue de dar un buen seguimiento a los análisis de vibraciones. Esta persona deberá conocer sobre los principios de vibraciones y los instrumentos de medición y análisis. Además tendrá la responsabilidad de estar realizando las mediciones junto con los técnicos de la empresa encargada de realizar las mediciones. Anotará los datos obtenidos y verificará que las mediciones se estén realizando correctamente para así obtener resultados confiables.

b. Calidad de energía

El Departamento de Mantenimiento está contratando los servicios de una tercera empresa para controlar la calidad de energía. Las armónicas son las principales causas de fallas en equipos con sistema electrónicos tales como variadores de frecuencia, PLCs y otros equipos sensibles. Se han realizado mediciones en la subestación principal, exactamente en el tablero de distribución del secundario del transformador de 1.5MVA y en la Imprenta *Ward 66*. Ambas pruebas se hicieron de acuerdo con la norma IEEE 1159 de calidad de energía. En el primer reporte de calidad de energía realizado a la subestación principal se obtuvieron resultados normales de funcionamiento. Se concluyó que en nivel de 8 a 12% de THD de corriente medido en la subestación no representa ningún problema para la instalación o

equipos. Según la norma IEE519 se recomienda que los valores medidos en la subestación de una industria, no deben superar un nivel de un 12% de corriente, sin embargo, se recomienda que en lugares puntuales y ante máquinas que generan armónicas, no deben superar niveles del 12%, tal es el caso de la máquina *Ward 66*, donde existe un nivel inadecuado de armónicas % de THD de corriente, según la medición de calidad de energía realizada recientemente. El problema se origina por la cantidad de variadores de frecuencia con que cuenta la máquina, los cuales generan muchas armónicas y afectan a las otras máquinas vecinas.

Esta inspección de Mantenimiento Predictivo, no se realiza directamente a los motores eléctricos, pero una buena calidad de energía asegura que todos los sistemas eléctricos de la planta funcionen adecuadamente con una mayor eficiencia.

3.7 Implementación del Sistema de Mantenimiento Preventivo-Predictivo

3.7.1 Sistema de Codificación

Para la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo-predictivo a motores eléctricos, es muy importante recopilar la información técnica de los equipos que van a formar parte del programa. Con la información obtenida en el levantamiento preliminar se va a llenar una ficha técnica para cada motor. En el Anexo 13 se muestra un ejemplo de la ficha técnica propuesta. En el caso de Corrugados del Guarco se están almacenando las fichas técnicas de los motores en un archivero donde se maneja la otra información de los equipos y máquinas. El objetivo de mantener un archivo con la información de cada motor, es para poder darle un seguimiento a las reparaciones de los motores. Muchas veces el departamento de mantenimiento envía un motor a reparar a una empresa que le ofrece el servicio y no saben con exactitud la fecha de la última reparación de realizada a ese motor, ni las partes reparadas

por lo que no pueden decidir sobre el estado de éste. Más adelante se presentará una propuesta de una Guía de historial de reparaciones para cada motor junto con su ficha técnica.

En la tabla 3.3 se tienen todos los posibles datos que pueden tomarse en cuenta para el diseño de una ficha técnica. En este caso sólo se tomarán en cuenta los que tienen una nota al lado. Hay que recordar que una ficha técnica con muchos datos técnicos significará más trabajo para la persona que realiza el levantamiento así como para la persona que confecciona la ficha.

Tabla 3.3 Datos a analizar en motores eléctricos según el PMP

Código del motor:	Incluido en el PMP
Descripción:	Incluido en el PMP
Tipo de motor:	Incluido en el PMP
Ubicación:	Incluido en el PMP
Área:	Incluido en el PMP
Fabricante:	Incluido en el PMP
Modelo:	Incluido en el PMP
Número de Serie:	Incluido en el PMP
Potencia:	Incluido en el PMP
Voltaje:	Incluido en el PMP
Corriente:	Incluido en el PMP
Frecuencia :	Incluido en el PMP
Número de fases:	Incluido en el PMP
Secuencia de fases:	
Tipo de Armadura	
Revoluciones por minuto:	Incluido en el PMP
Factor de Servicio:	
Factor de Potencia:	
Eficiencia:	
Servicio:Intermitente ó Continuo”	
Horas de operación :	Incluido en el PMP
Aplicación :	

Por otro lado, para varios de los motores ubicados en planta, no se pudo recopilar toda su información. Varios motores estaban pintados totalmente, o simplemente no tenían su placa. Se recomienda para el futuro cuando se vayan a pintar los motores cubrir las placas de datos, ya que es importante tener acceso a éstos a la hora de realizar las mediciones y

comprobaciones estipuladas en el programa de mantenimiento. En el Anexo 13 se presenta un ejemplo de la ficha técnica diseñada para el PMP, ya con los datos necesarios.

Un dato muy importante dentro de esta ficha técnica es el código del motor. Este código a diferencia del modelo o número de serie, es un código asignado por la empresa. En cualquier programa de mantenimiento es fundamental, diseñar un sistema de codificación, esto con el fin de poder localizar y diferenciar los equipos. Varios de los motores que formaran parte del PMP, ya tienen su codificación, por lo que se va a seguir la misma metodología utilizada por la empresa para codificar el resto de los motores. El código utilizado es alfanumérico y está formado por dos letras en mayúscula que abrevian el área de proceso al que pertenece el motor, dos letras en mayúscula que representan la sección de la máquina donde se encuentra ubicado y un número consecutivo. A continuación se presenta un ejemplo de la codificación de usada por la empresa

EM	TU	01
----	----	----

Donde

EM = Embaladora = Área de Proceso

TU = Turbina = Sección

01 = # de motor en la sección

Para la implementación del Programa de Mantenimiento Preventivo-Predictivo se tomaron algunos motores del levantamiento general detallado en la Tabla 3.1. La selección de estos motores se basó en su importancia en el proceso productivo. Esta importancia radica en que si alguno de estos motores falla, la planta se detiene hasta su eventual reparación o sustitución. . Se realizó un análisis de criticidad, utilizando una escala del uno al cinco, tal y como se presenta a continuación:

Tabla 3.4 Análisis de criticidad utilizado para la selección de los motores del PMP

Escala	Factor de criticidad	Consecuencia en el proceso de producción
1	Muy poco crítico	No para la producción, sólo detiene una sección de la máquina o varias pero no afecta el proceso productivo.
2	Medianamente crítico	Detiene parte de la producción. Se puede esperar un cierto tiempo para programar su reparación
3	Crítico	Detiene una parte de la producción. En caso de falla aplicar mantenimiento correctivo inmediatamente
4	Bastante crítico	Para la producción por cierto tiempo pero es muy probable su reparación en pocas horas.
5	Altamente crítico	Para por completo toda la producción. Toma mucho tiempo su reparación.

A continuación se detalla una guía de localización de fallas que se tendrá que tomar en cuenta cuando se realicen las mediciones a los motores de corriente continua y corriente alterna. Por lo tanto luego de realizadas las mediciones, esta guía servirá como base para evaluar qué es lo que está sucediendo en caso de que se detecte algún monitoreo anormal.

3.7.2 Localización de fallas

A continuación se detalla una guía de localización de fallas que se tendrán que tomar en cuenta cuando se realicen las mediciones a los motores de corriente continua y corriente alterna. Por lo tanto luego de realizadas las mediciones, esta guía servirá como base para evaluar qué es lo que está sucediendo en caso de que se detecte algún monitoreo anormal

Tabla 3.5 Guía de localización de fallas en motores eléctricos

PROBLEMA	CAUSAS	SOLUCIÓN
<i>El motor no arranca</i>	Fusibles fundidos	Reemplace con fusibles con retardo adecuado a los Amperios indicados en la placa nominal. Si el motor tiene un factor de servicio mayor de 1.0 úsese un tamaño de fusible correspondiente hasta un 125% más de los amperes del motor. Verifique que no hay devanados puesto a tierra
	Alimentación inadecuada de potencia	Verifique que la potencia suministrada (voltaje, frecuencia, fase) coincida con la indicada en la placa nominal del motor.
	Bajo Voltaje	Alambrado inadecuado. Cables de extensión largos o inadecuados (Mucha caída de tensión)
	Disparo de Sobrecarga (protector térmico)	Verifíquese y repóngase el relevador de sobrecarga en el arrancador. Verifique la carga del motor. Si el motor tiene un protector térmico de reposición manual, verifique si se disparó.
	Falla mecánica	Verifique si el motor y la transmisión giran libremente. Compruébense las bandas, rodamientos y lubricación.
	Estator en corto circuito	Indicado por fusibles fundidos y/o alta corriente en vacío de línea. Se debe reemplazar el motor o rebobinarlo
	Motor sobrecargado	Redúzcase la carga o cámbiese el motor por otro de más potencia
	Si es trifásico puede estar abierta una fase	Indicado por un zumbido. Verifíquese en las líneas si está abierta una fase. Puede estar fundido un fusible.
<i>El motor se atasca</i>	Aplicación errónea	Cámbiese el tipo o tamaño del motor
	Motor Sobrecargado	Redúzcase la carga o aumente el tamaño del motor. La banda puede estar demasiado tensa.
	Voltaje bajo en el motor	Cuídese de mantener el voltaje indicado en la placa nominal
<i>El motor arranca y después se apaga</i>	Falla de potencia	Verifíquese que no haya conexiones flojas en la línea, en los fusibles y en el control. Verifíquese si el protector térmico se ha disparado, si hay fusibles fundidos, el relevador de sobrecarga, arrancador y botones.
<i>El motor no alcanza su velocidad</i>	No está adecuadamente aplicado	Consúltase a la empresa de servicio respecto al tipo y tamaño adecuado de motor. Úsese un motor más grande.

	Voltaje demasiado bajo en las terminales del motor (muchas caídas de voltaje)	Úsese una derivación de voltaje más alto en las terminales del transformador ; aumentese el calibre del alambre
	Carga en el arranque demasiado alta	Verifique la capacidad de carga del motor
<i>El motor tarda mucho tiempo en acelerar</i>	Exceso de carga; bandas apretadas; carga de alta inercia	Redúzcase la carga, aumentese el tamaño del motor; las bandas. Aflójense las bandas
	Conductor inadecuado	Verifíquese si hay alta resistencia, aumentese el calibre del conductor
	Rotor defectuoso	Reemplace con rotor nuevo
	Voltaje aplicado demasiado bajo	Verifique la caída de voltaje. Es posible que se necesite más alto voltaje en la alimentación de potencia.
	Bajo par de torsión de arranque	Reemplace con motor más grande
<i>El motor se sobrecalienta cuando funciona con carga</i>	Sobrecarga	Redúzcase la carga ; aumentese el tamaño del motor las bandas pueden estar demasiado tensas.
	Insuficiente flujo de aire sobre la carcasa del motor	Modifique la instalación
	Puede estar obstruido por suciedad que evita la adecuada ventilación del motor	La buena ventilación es evidente cuando sale del motor una corriente continua de aire . Si no la hay después de la limpieza , consúltese al fabricante
	El motor puede tener una fase abierta (motores trifásicos)	Verifíquese para tener la seguridad de que todos los conductores están bien conectados y que no este fundido un fusible de una línea

	Embobinado puesto a tierra o en corto circuito	Repare o reemplace el motor
	Voltaje desbalanceado en las terminales	Compruébese si existen conductores, conexiones y transformadores defectuosos
	Alto o bajo voltaje	Verifíquese con un voltímetro el voltaje en el motor, no debe ser más de 10% por encima o por debajo del voltaje nominal.
<i>El motor vibra luego de hechas las correcciones</i>	Motor desalineado	Realinéese
	Acoplamiento fuera de balance	Debe balancearse el acoplamiento
	Equipo impulsado desbalanceado	Debe balancearse el equipo impulsado
	Rodamiento de bolas defectuoso	Reemplace los rodamientos
	Exceso de juego axial	Ajústense los rodamientos o agréguese calzas para eliminar el juego excesivo
	Alto voltaje	Corrígase
<i>Corriente desbalanceada de línea en motores durante operación Normal</i>	Voltaje desigual en las terminales	Verifíquese los conductores y las conexiones. Verifíquese los transformadores
	Operación monofásica	Verifíquese si existen contactos abiertos, fusibles fundidos
	Alimentación desbalanceada	Verifíquese los voltajes línea a línea
<i>Calentamiento de Rodamientos</i>	Eje torcido	Enderécese o cámbiese el rotor o el eje
	Excesiva tensión la banda	Disminuya la tensión de la banda
	Poleas demasiado alejadas del talón del rodamiento	Acérquese la polea al rodamiento del motor.
	Desalineamiento	Corrígase realineando la transmisión
	Ranura de aceite en el rodamiento obstruida por suciedad	Desmóntese la tapa del envolvente, límpiase el alojamiento del rodamiento y las ranuras de aceite, cámbiese el aceite.

Aceite demasiado viscoso	Úsese el aceite recomendado
Aceite poco viscoso	Úsese el aceite recomendado
Demasiado empuje axial	redúzcase el empuje axial inducido por la transmisión o suminístrense medios externos para absorber ese empuje
Rodamiento seco	Añada grasa
Rodamiento muy gastado	Reemplace el rodamiento
Excesivo lubricante	Redúzcase la cantidad de grasa
Cojinete sobrecargado	Verifíquese el alineamiento, los empujes laterales y axiales.

3.7.3 Recopilación de lecturas

Cuando se desarrolla un programa de mantenimiento predictivo a motores es importante la confección de una tabla en la cual se puedan anotar los datos que se toman, para luego con base en ellos concluir.

Se muestra un documento en el Anexo 14 el cual se utilizará para anotar las mediciones realizadas a los motores que se estarán analizando.

3.7.4 Conclusiones y recomendaciones

1. Se realizó un levantamiento de todos los motores eléctricos en planta, por lo que se recomienda que cada vez que los electricistas cambien un motor dañado o saquen de operación una máquina, actualicen el archivo Lista de Motores Eléctricos que quedará en una de las computadoras del Departamento de Mantenimiento.
2. El éxito de un sistema de mantenimiento Predictivo incide en la capacitación al personal involucrado por lo que se expuso una charla introductoria al Mantenimiento Predictivo en la cual participó el personal de mantenimiento y producción.
3. Le empresa deberá brindar un buen entrenamiento al encargado de realizar los monitoreos, el cual debe ser una persona que tenga buena experiencia en la empresa, siendo bien importante además proveerle de los medios adecuados para la ejecución de las mediciones.
4. Es muy importante contar con un equipo apropiado y bien calibrado para la realización de tales pruebas del PMP.
5. Se espera realizar las mediciones a los motores lo antes posible y programar las inspecciones para que todas se realicen en un período de un año. Se establecerá una frecuencia de acuerdo con la experiencia de los electricistas de la empresa y de ciertos fabricantes de motores.
6. Se le dará continuidad al plan piloto en el área de análisis de vibraciones. Se recomienda encargar a un responsable que le brinde seguimiento a estos análisis, ya que es muy importante que una persona de la empresa realice las mediciones junto con los técnicos de la empresa que brinda el servicio, esto con la finalidad de cerciorarse que se estén haciendo las mediciones correctamente.
7. Esta persona deberá tener conocimiento sobre estas técnicas y preparar informes sobre lo visto en el campo para luego confrontarlo con el informe que brinda la empresa encargada de realizar las mediciones.

8. Un buen aprovechamiento del mantenimiento predictivo reducirá los tiempos de parada de los equipos lo cual generará un aumento de la disponibilidad de los éstos, obteniéndose, por ende, un aumento de la productividad.

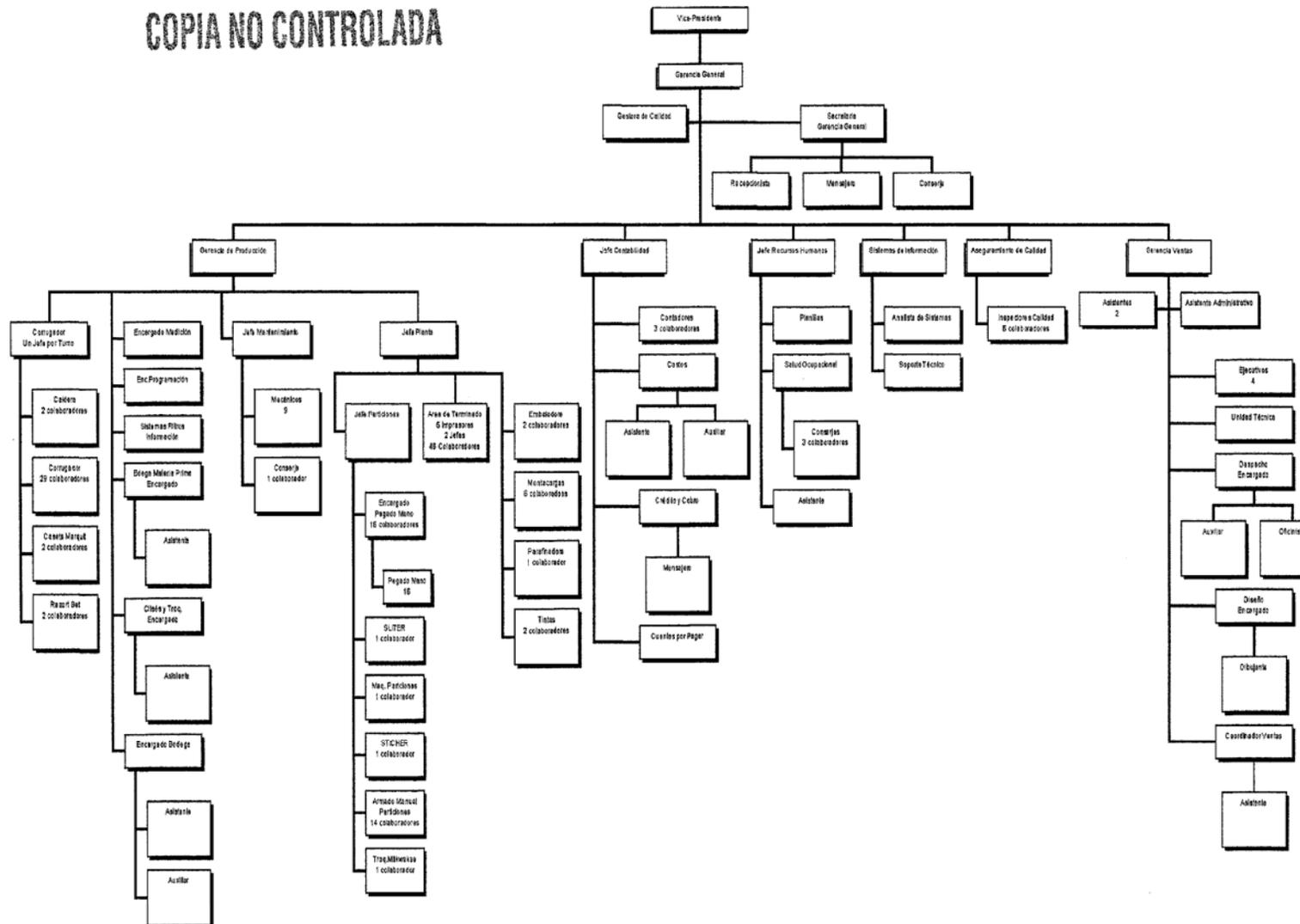
Bibliografía

- Álvarez Pérez, R. 1999. FOTOLIT S.A: Diseño de red de aire comprimido; Bases de datos para inspecciones de mantenimiento preventivo; Programa de Mantenimiento Preventivo. Bachillerato. Informe de Práctica de Especialidad. Cartago, Costa Rica, Escuela de Ingeniería Electromecánica ITCR. 84 p.
- Bolaños F, Gilberto. 2005. El ABC del Mantenimiento. 1 ed. Cartago, CR Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Chávez Martínez, G. 1998. “BAXTER: Control de Inventario de Repuestos; Programa de Mantenimiento Predictivo a Motores Eléctricos. Informe de Práctica de Especialidad, Cartago, CR, Escuela de Ingeniería Electromecánica ITCR.68 p.
- Halabi Guardia, K. 1993. CORRUGADOS DEL GUARCO S.A: Investigación de Mercados: Utilización de cajas de cartón corrugado. Informe de Práctica de Especialidad, Cartago, CR, Escuela de Ingeniería Electromecánica ITCR. 102p.
- Mata Leiva, A. 1998. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA: Sistema de Monitoreo de Vibración para Mantenimiento Predictivo. Informe de Práctica de Especialidad, Cartago, CR, Escuela de Ingeniería Electronica ITCR. 187p.
- Medidor de aislamiento MeghOhmMeter Fluke 550 B. Pagina oficial FLUKE. Consultado 17 Mayo 2006. Disponible en <http://www.informationstore.net/fluke/efulfillment.asp?publication=10489-spa>
- PYE BARKER, Suply Company. SCFM vs ACFM. Consultado 10 abril 2006. Disponible en <http://www.Pyebarker.com/TechTips /techtip2.htm>

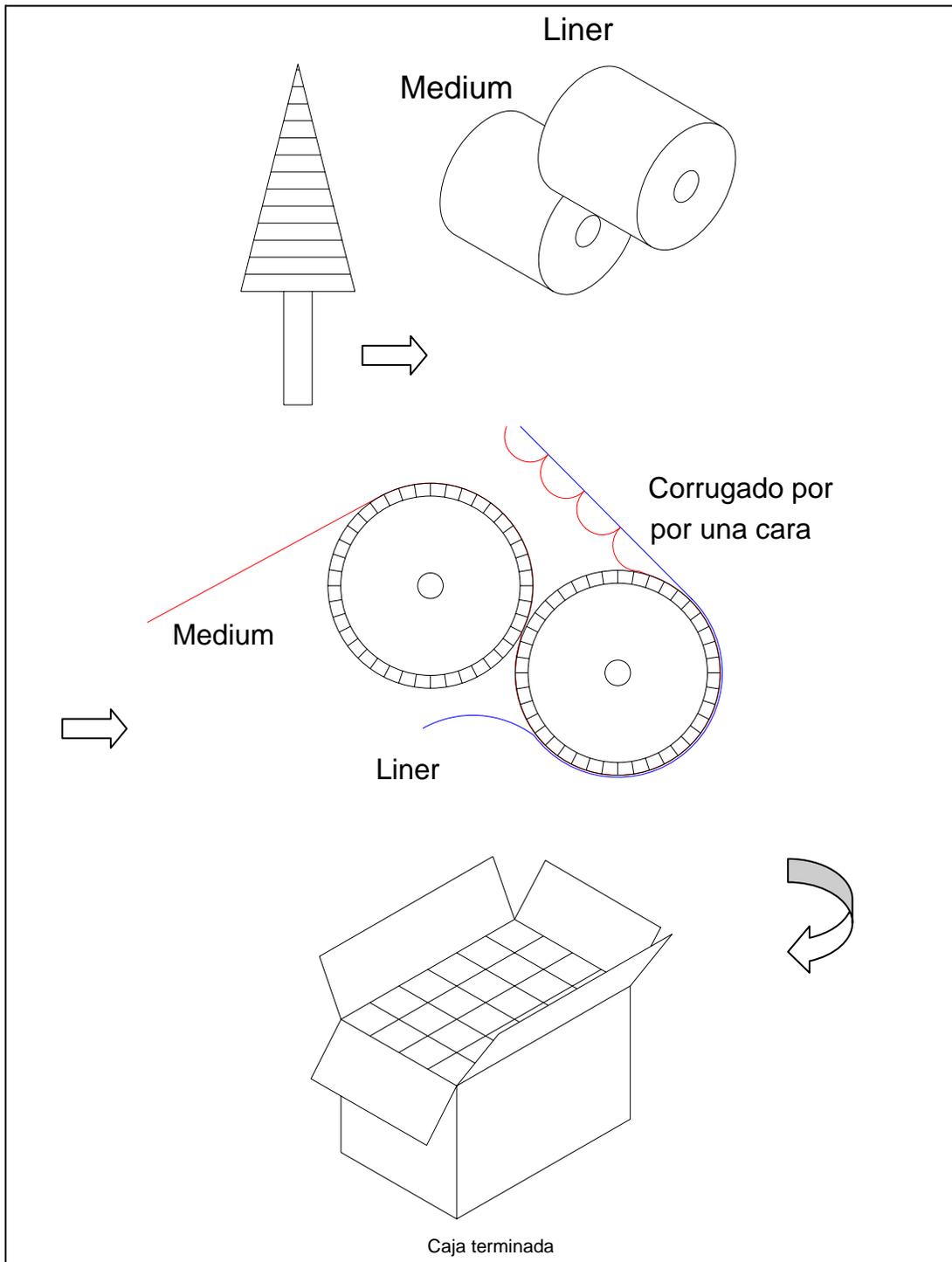
Anexos

Anexo 1. Estructura Organizativa

COPIA NO CONTROLADA

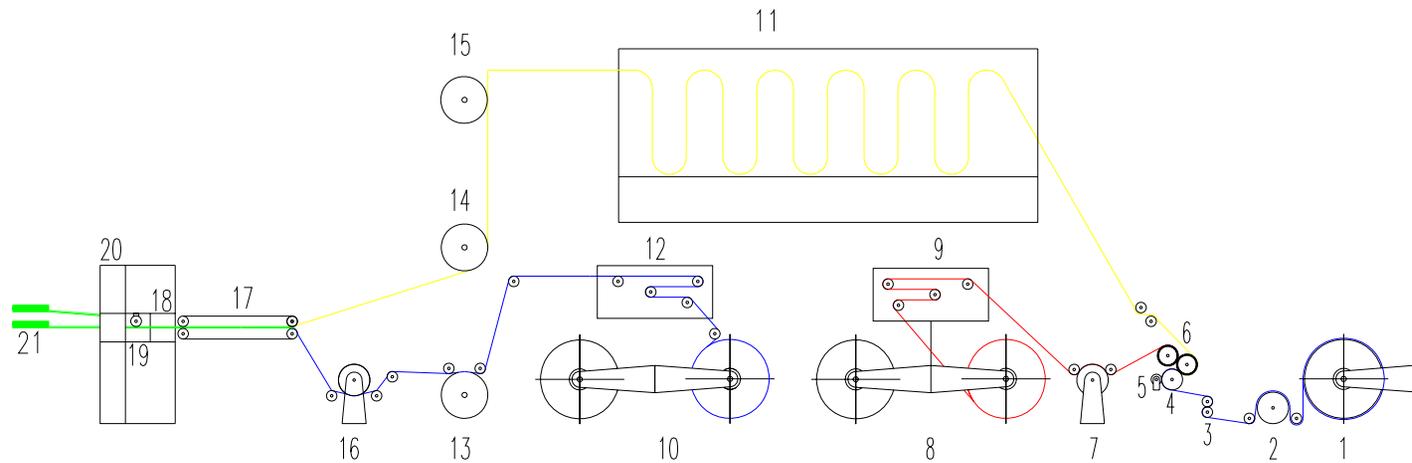


Anexo 2. Transformación de la materia prima



AUTOCAD2004

Anexo 3. Unidad Corrugadora



#	Parte	#	Parte
1	Desembobinador de Liner	12	Puente
2	Rodillo Pre calentador (Preheater)	13	Rodillo Pre calentador (Preheater)
3	Rodillos Pre calentadores	14	Rodillo Pre calentador (Preheater)
4	Rodillo de Presión	15	Rodillo Pre calentador (Preheater)
5	Rodillo aplicador de goma	16	Máquina de Goma
6	Rodillos de corrugación	17	Hot Foot
7	Rodillo Preacondicionador	18	Rotary Shear
8	Desembobinador de medium	19	Cuchilla Hendedora Cortadora
9	Empalmador (Splicer)	20	Cuchilla Transversal
10	Desembobinador de Liner	21	Mesas de entrega
11	Empalmador (Splicer)		

- Cartón
- Liner
- Medium
- Medium-Liner

Anexo 4. Documentación del Departamento de Mantenimiento

CORRUGADOS DEL GUARCO DEPARTAMENTO MANTENIMIENTO Nº 1244
SOLICITUD DE TRABAJO

Fecha de Solicitud 20-Marzo-2006 Máquina Sat 37
 Descripción del Trabajo _____
Falla en amarradora.
 Resultado del trabajo:
 Satisfactorio No satisfactorio ¿Por qué? _____
 Eléctrico Mecánico Edificio
 Solicitado [Firma] Autorizado _____
 Fecha programada para el trabajo _____
 REGGR-03 F.E. 12/08/2002 VER. 1 36887 Litho. Imp. Argentina

Solicitud de trabajo REGGR-03

CORRUGADOS DEL GUARCO S.A. **Orden de Trabajo** 26-03-2006 03:57 PM
 REGGR-02 FE 12/08/2002 Ver. 1 Pág. 1

Orden Trabajo Nº **50435** REPARAR MANGUERA
 Unidad Mto **IMI5GC** GOMERO COPAR IMPRENTA 5 Fecha. 22-03-2006
 Tipo Correctivo Ubicación IMPRESORAS Frecuencia.
 Prioridad ALTA Responsable **OSCAR MARIN AGUILAR** Tiempo Est. 60.0 MIN.

Tarea	Descripción	Inició	Finalizó	Lectura Dispositivo	Máquina parada
GENERAL	Tarea General				<input checked="" type="checkbox"/>

Observaciones _____

Jefe del Dep.
Mantenimiento

Orden de Trabajo Correctiva REGGR-02

Anexo 4. Documentación del Departamento de Mantenimiento

CORRUGADOS DEL GUARCO S.A. REGGR-06 FE 12/08/2002 Ver. 1		Orden de Trabajo		16-03-2006 06:46 AM Pág. 18
<hr/>				
Orden Trabajo N°	50326	BODEGA PARTICIONES		Fecha. 23-03-2006
Unidad Mto	EDBP	Ubicación		Frecuencia. 30 DIAS
Tipo	Preventivo	Ubicación		Responsable
Prioridad		Responsable		Tiempo Est. 480.0 MIN.
		ELADIO TENCIO CAMACHO		
<hr/>				
Tarea	Descripción			
365	REVISAR ESTADO DE LAMINAS TRANSPARENTES EN MONITORES EN EDIFICIOS			
	Inició	Finalizó	Lectura Dispositivo	Máquina parada
	23/03/06 8	23/03/06 9:30		<input checked="" type="checkbox"/>
Observaciones				
<hr/> <hr/> <hr/>				
 Jefe del Dep. Mantenimiento				

Orden de Trabajo Preventiva REGGR-06

CORRUGADOS DEL GUARCO S.A. REGGR-07 FE 12/08/2002 Ver. 1		Orden de Trabajo		26-03-2006 03:56 PM Pág. 1
<hr/>				
Orden Trabajo N°	50625	CALIBRAR CUCHILLAS		
Unidad Mto	IMI5SL	SLOTEADORA IMPRENTA 5		Fecha. 27-03-2006
Tipo	Correctivo Programado	Ubicación		Frecuencia.
Prioridad	BAJA	Responsable		Tiempo Est. 60.0 MIN.
		JUAN CARLOS BRENES PIEDRA		
<hr/>				
Tarea	Descripción			
GENERAL	Tarea General			
	Inició	Finalizó	Lectura Dispositivo	Máquina parada
				<input type="checkbox"/>
Observaciones				
<hr/> <hr/> <hr/>				
<hr/> Jefe del Dep. Mantenimiento				

Orden de Trabajo Correctiva Programada REGGR-07

Anexo 5. Variación de la presión atmosférica con la altitud

Tabla 1. Variación de la presión atmosférica con la altitud

Altitud msnm ²⁰	Presión Bar
0	1.012
100	1.001
200	0.989
300	0.978
400	0.967
500	0.955
800	0.921
1000	0.898
1200	0.875
1500	0.844
1600	0.834
1800	0.813
2000	0.792
2500	0.741
3000	0.697
3500	0.652

Altura de la
ciudad de Cartago

²⁰ msnm: metros sobre el nivel del mar

Anexo 6. Tratamiento del aire comprimido

Preparación del aire comprimido

Impurezas

En la práctica se presentan muy a menudo los casos en que la calidad del aire comprimido desempeña un papel primordial. Las impurezas en forma de partículas de suciedad u óxido, residuos de aceite lubricante y humedad dan origen muchas veces a averías en las instalaciones neumáticas y a la destrucción de los elementos neumáticos. Mientras que la mayor separación del agua de condensación tiene lugar en el separador, después de la refrigeración, la separación fina, el filtrado y otros tratamientos del aire comprimido se efectúan en el puesto de aplicación. Hay que dedicar especial atención a la humedad que contiene el aire comprimido. El agua (humedad) llega al interior de la red con el aire que aspira el compresor. La cantidad de humedad depende en primer lugar de la humedad relativa del aire, que a su vez depende de la temperatura del aire y de las condiciones climatológicas.

La humedad absoluta es la cantidad de agua contenida en un m³ de aire. El grado de saturación es la cantidad de agua que un m³ de aire puede absorber, como máximo, a la temperatura considerada. La humedad es entonces del 100% , como máximo (temperatura del punto de rocío).

El diagrama de la figura 1 muestra la saturación del aire en función de la temperatura.

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{humedad absoluta}}{\text{grado de saturación}} \cdot 100\%$$

Ejemplo: Para un punto de rocío de 293 K (20°C), la humedad contenida en un m³ de aire es de 17,3 g.

Remedio: Filtrado correcto del aire aspirado por el compresor Utilización de compresores exentos de aceite. Si el aire comprimido contiene humedad, habrá de someterse a un secado.

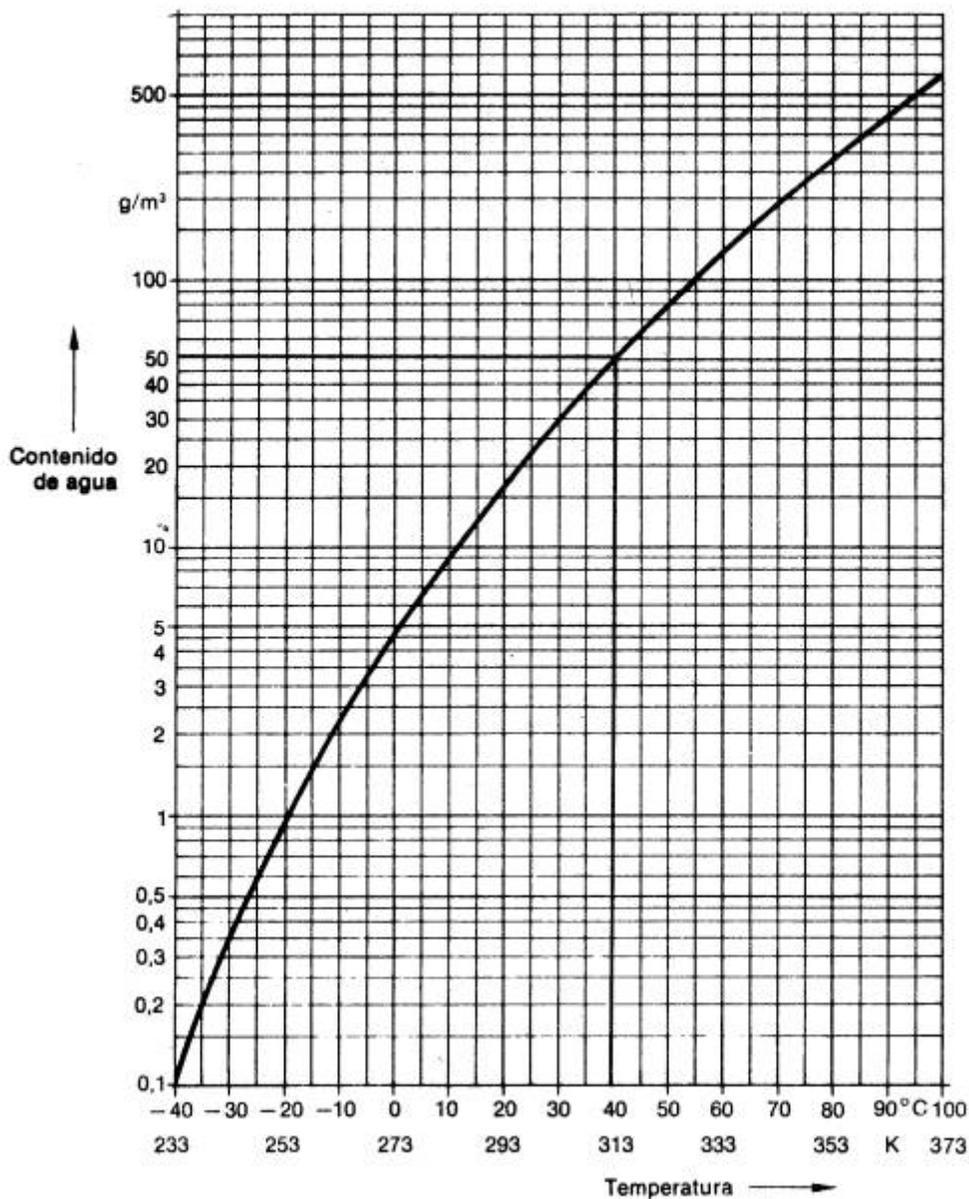


Figura 1. Saturación del aire en función de la temperatura

Existen varios procedimientos:

- Secado por absorción
- Secado por adsorción
- Secado por enfriamiento

1. Secado por absorción

El secado por absorción es un procedimiento puramente químico. El aire comprimido pasa a través de un lecho de sustancias secantes. En cuanto el agua o vapor de agua entra en contacto con dicha sustancia, se combina químicamente con ésta y se desprende como mezcla de agua y sustancia secante.

Esta mezcla tiene que ser eliminada regularmente del absorbedor. Ello se puede realizar manual o automáticamente. Con el tiempo se consume la sustancia secante, y debe suplirse en intervalos regulares (2 a 4 veces al año).

Al mismo tiempo, en el secador por absorción se separan vapores y partículas de aceite. No obstante, las cantidades de aceite, si son grandes, influyen en el funcionamiento del secador. Por esto conviene montar un filtro fino delante de éste.

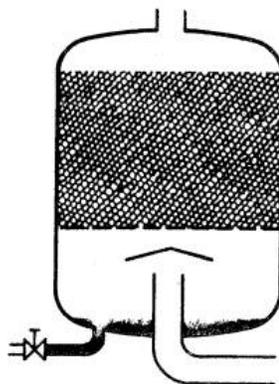


Figura 2. Secado por absorción

El procedimiento de absorción se distingue:

- Instalación simple - Reducido desgaste mecánico, porque el secador no tiene piezas móviles
- No necesita aportación de energía exterior

2. Secado por adsorción

- Este principio se basa en un proceso físico. (Adsorber: Depósito de sustancias sobre la superficie de cuerpos sólidos.)
- El material de secado es granuloso con cantos vivos o en forma de perlas. Se compone de casi un 100% de dióxido de silicio. En general se le da el nombre de gel.
- La misión del gel consiste en adsorber el agua y el vapor de agua. El aire comprimido húmedo se hace pasar a través del lecho de gel, que fija la humedad.
- La capacidad adsorbente de un lecho de gel es naturalmente limitada. Si está saturado, se regenera de forma simple. A través del secador se sopla aire caliente, que absorbe la humedad del material de secado.
- El calor necesario para la regeneración puede aplicarse por medio de corriente eléctrica o también con aire comprimido caliente.
- Disponiendo en paralelo dos secadores, se puede emplear uno para el secado del aire, mientras el otro es regenera (soplándolo con aire caliente).

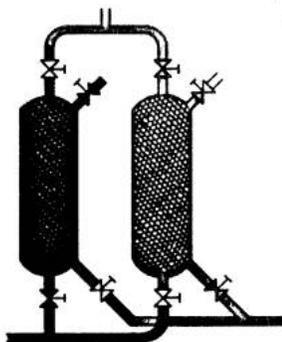


Figura 3. Secado por adsorción

3. Secado por enfriamiento

Los secadores de aire comprimido por enfriamiento se basan en el principio de una reducción de la temperatura del punto de rocío.

Se entiende por temperatura del punto de rocío aquella a la que hay que enfriar un gas, al objeto de que se condense el vapor de agua contenido. El aire comprimido a secar entra en el secador pasando primero por el llamado intercambiador de calor de aire-aire.

El aire caliente que entra en el secador se enfría mediante aire seco y frío proveniente del intercambiador de calor (vaporizador).

El condensado de aceite y agua se evacua del intercambiador de calor, a través del separador. Este aire preenfriado pasa por el grupo frigorífico (vaporizador) y se enfría más hasta una temperatura de unos 274,7 K (1,7 °C) En este proceso se elimina por segunda vez el agua y aceite condensados.

Seguidamente se puede hacer pasar el aire comprimido por un filtro fino, al objeto de eliminar nuevamente partículas de suciedad.

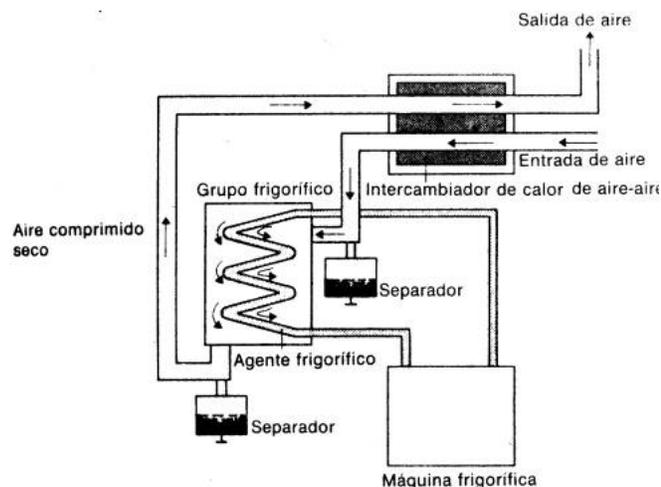


Figura 4. Secado por enfriamiento

Ejemplo:

Cantidad de agua obtenida en las siguientes condiciones:

Cantidad de aire aspirado: $\dot{V} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$
 Presión: $p = 800 \text{ kPa (8 bar)}$
 Temperatura: $T = 323 \text{ K (50 }^\circ\text{C)}$
 Humedad relativa del aire: 60%
 Humedad absoluta del aire: ?

$$\text{Humedad relativa del aire} = \frac{\text{humedad absoluta del aire}}{\text{grado de saturación}} \cdot 100\%$$

En el ejemplo se desea conocer la humedad absoluta.
 Transformación de la ecuación

$$\text{Humedad absoluta} = \frac{\text{humedad relativa} \cdot \text{grado de saturación}}{100\%}$$

Del diagrama del punto de rocío (figura 39) se desprende para una temperatura de 323 K (50 °C) un contenido de agua de 80 g/m³.

$$\text{Humedad absoluta} = \frac{60\% \cdot 80 \text{ g/m}^3}{100\%} = 48 \text{ g/m}^3$$

Con una cantidad aspirada de 400 m³/h se obtiene una cantidad de agua de:

$$\begin{aligned} 48 \text{ g/m}^3 \cdot 400 \text{ m}^3/\text{h} &= 19.200 \text{ g/h} \\ &= 19,2 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

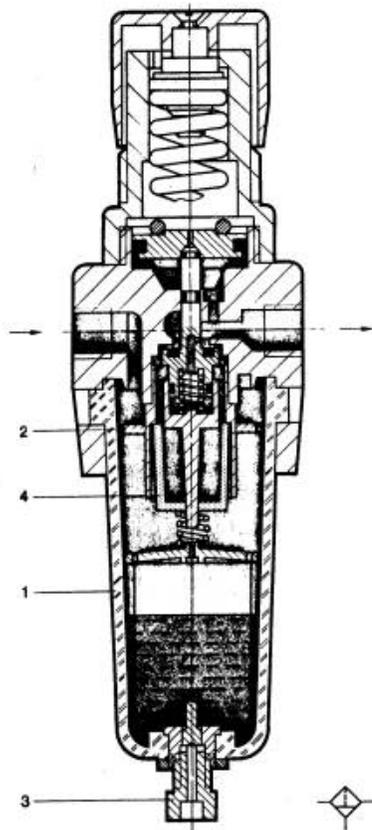


Figura 5. Filtro de aire comprimido con regulador de presión.

4. Filtro de aire comprimido con regulador de presión

El filtro tiene la misión de extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua condensada.

Para entrar en el recipiente (1), el aire comprimido tiene que atravesar la chapa deflectora (2) provista de ranuras directrices. Como consecuencia se somete a un movimiento de rotación. Los componentes líquidos y las partículas grandes de suciedad se desprenden por el efecto de la fuerza centrífuga y se acumulan en la parte inferior del recipiente. En el filtro sintetizado (4) (ancho medio de poros, 40 mm) sigue la depuración del aire comprimido. Dicho filtro (4) separa otras partículas de suciedad. Debe ser sustituido o limpiado de vez en cuando, según el grado de ensuciamiento del aire comprimido. El aire comprimido limpio pasa entonces por el regulador de presión y llega a la unidad de

lubricación y de aquí a los consumidores. La condensación acumulada en la parte inferior del recipiente (1) se deberá vaciar antes de que alcance la altura máxima admisible, a través del tornillo de purga (3). Si la cantidad que se condensa es grande, conviene montar una purga automática de agua.

5. Purga Automática de agua

Funcionamiento de la purga automática de agua

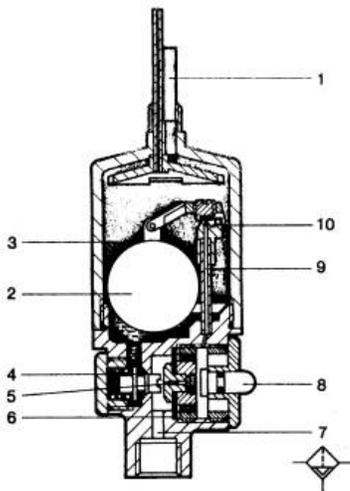


Figura 6. Purga Automática de agua

El agua condensada es separada por el filtro. De vez en cuando hay que vaciar la purga, porque de lo contrario el agua será arrastrada por el aire comprimido hasta los elementos de mando. En la purga de agua mostrada abajo, el vaciado tiene lugar de forma automática. El condensado del filtro llega, a través del tubo de unión (1), a la cámara del flotador (3). A medida que aumenta el nivel del condensado, el flotador (2) sube y a una altura determinada abre, por medio de una palanca, una tobera (10). Por el taladro (9) pasa aire comprimido a la otra cámara y empuja la membrana (6) contra la válvula de purga (4). Ésta abre el paso y el condensado puede salir por el taladro (7). El flotador (2) cierra de nuevo la tobera (10) a medida que disminuye el nivel de condensado. El aire restante escapa a la atmósfera por la tobera (5). La purga puede realizarse también de forma manual con el perno (8).

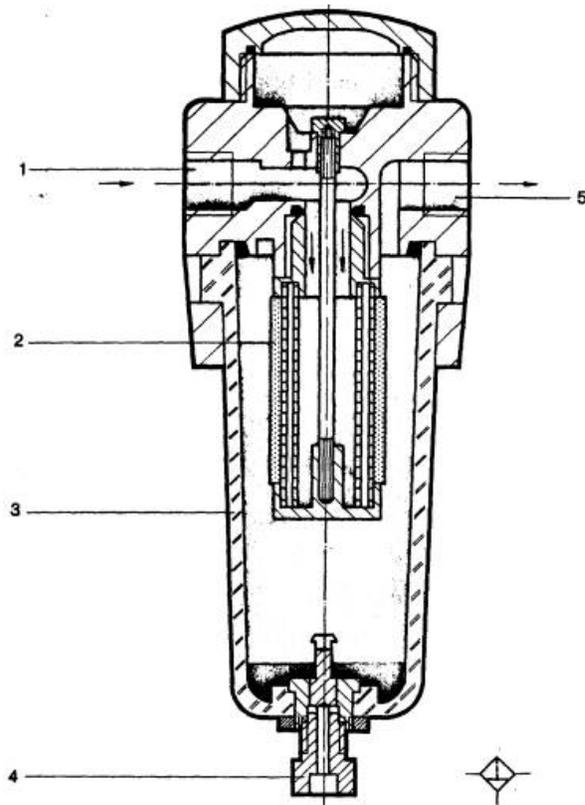


Figura 7. Filtro finísimo de aire comprimido

Funcionamiento del filtro finísimo de aire comprimido

Este filtro se diferencia del filtro normal en el hecho de que el aire comprimido atraviesa el cartucho filtrante de dentro hacia afuera.

El aire comprimido entra en el filtro por (1), y atraviesa el elemento filtrante (2) (fibras de vidrio boro silicato de dentro hacia afuera. El aire comprimido limpio pasa por la salida (5) a los consumidores.

La separación de partículas finísimas hasta 0,01 micrón es posible debido a la finura extraordinaria del tejido filtrante. Las partículas separadas se eliminan del recipiente del filtro,

por el tornillo de purga (4). Para que las partículas de agua y aceite no puedan ser arrastradas por el aire que circula, deben observarse los valores de flujo. Al montarlo hay que tener presente lo siguiente: El prefiltrado aumenta la duración del cartucho filtrante; el filtro ha de montarse en posición vertical, prestando atención al sentido de flujo (flecha).

Anexo 7. Tabla para conversión de unidades

TABLES AND CHARTS
General Conversion Factors
*Indicates preferred SI system units

To convert from	To	Multiply by	
acres	square feet (ft ²)	43 560	
	*square meters (m ²)	4 046.9	
	hectares (ha)	0.404 69	
acre-feet	cubic feet (ft ³)	43 560	
	gallons (U.S.)	325 851	
	*cubic meters (m ³)	1 233.5	
atmospheres (standard)	bars (bar)	1.013 25	
	centimeters of mercury (cmHg) at 32°F (0°C)	76.0	
	feet of water (ftH ₂ O) at 68°F (20°C)	33.96	
	inches of mercury at 32°F (0°C)	29.921	
	kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	1.033 2	
	kilograms-force per square meter (kgf/m ²)	10 332	
	*kilopascals (kPa)	101 325	
	pounds-force per square inch (lbf/in ²) (psi)	14 696	
	tons-force (short) per square foot (tonf/ft ²)	1 056 1	
	torr (torr) (= mmHg at 0°C)	760	
barrels (U.S. liquid)	gallons (U.S.)	31.5	
	*cubic meters (m ³)	0.119 24	
	barrels (oil)	42	
bars	atmospheres (atm) (standard)	0.986 92	
	feet of water (ftH ₂ O) at 68°F (20°C)	33.52	
	inches of mercury (inHg) at 0°C	29.53	
	kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	1.019 7	
	kilograms-force per square meter (kgf/m ²)	100	
	*kilopascals (kPa)	100	
	pounds-force per square inch (lbf/in ²) (psi)	14 504	
	torr (torr) (= mmHg at 0°C)	750.06	
	boiler horsepower	British thermal units per hour (Btu/h) (see note)	33 479
		*kilowatts (kW)	9 809 5
pounds of water evaporated per hour at 212°F (100°C)		34.5	
British thermal units (Btu) (see note)	calories (cal)	252.0	
	foot-pounds (ftlb)	778.2	
	horsepower hours (hp-h)	0.000 393	
	*joules (J)	1 055	
	kilowatt-hours (kW-h)	0.000 293	
	kilo-calories (kcal)	0.252	
	kilogram-force-meters (kgf-m)	107.6	

INGERSOLL-RAND
General Conversion Factors (Continued)
*Indicates preferred SI system units

To convert from	To	Multiply by
British thermal units (Btu) per second (see note)	*watts (W)	1 055
	horsepower (hp)	0.023 58
British thermal units (Btu) per minute (see note)	*watts (W)	17.58
	horsepower (hp)	0.023 58
British thermal units (Btu) per hour (see note)	*watts (W)	0.293 1
	horsepower (hp)	0.023 58
calories	British thermal units (Btu)	0.003 968 3
	foot-pounds (ft-lb)	3.086
	*joules (J)	4.186 8
	kilogram-meters (kg-m)	0.426 5
	watt hours (W-h)	0.001 163
Celsius (centigrade)	(see temperature page 117)	
*centimeters (cm)	inches (in)	0.393 7
centimeters of mercury (cmHg at 0°C)	atmospheres (standard) (atm)	0.013 158
	bars	0.013 33
	feet of water (ftH ₂ O) at 68°F	0.446 8
	inches of water (inH ₂ O) at 68°F	5.362
	kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	0.013 595
	*kilopascals (kPa)	1.333 2
	pounds-force per square inch (lbf/in ²) (psi)	0.193 37
	pounds-force per square foot (lbf/ft ²)	27.85
	torr (= mmHg at 0°C)	10
	centimeters per second (cm/s)	feet per second (ft/s)
feet per minute (ft/min)		1.968 5
miles per hour (mph)		0.022 37
kilometers per hour (km/h)		0.036 00
meters per minute (m/min)		0.600 00
centipoises		(see poise page 115)
centistokes	(see stoke page 117)	
circumference circular mils	radians (rad)	6.283
	square inches (in ²)	0.000 000 785 4

INGERSOLL-RAND
TABLES AND CHARTS
General Conversion Factors (Continued)
*Indicates preferred SI system units

To convert from	To	Multiply by
cubic centimeters (cm ³)	cubic inches (in ³)	0.061 02
	cubic feet (ft ³)	0.000 035 315
	cubic yards (yd ³)	0.000 001 308
	gallons (U.S.) (U.S. gal)	0.000 264 2
	gallons (imperial) (imp gal)	0.000 22
cubic feet (ft ³)	*liters (L)	0.001
	cubic centimeters (cm ³)	28 317
	*cubic meters (m ³)	0.028 317
	cubic inches (in ³)	1 728
	cubic yards (yd ³)	0.037 04
cubic feet per minute (ft ³ /min)	gallons—U.S. (U.S. gal)	7.480 5
	gallons—imperial (imp gal)	6.229
	*liters (L)	28.32
	cubic centimeters per second (cm ³ /s)	471.9
	*cubic meters per second (m ³ /s)	0.000 471 9
cubic feet per second (ft ³ /s)	cubic meters per hour (m ³ /h)	1.699
	liters per second (L/s)	0.471 9
	gallons—U.S. per second (U.S. gpd)	0.124 7
	pounds of water per minute (lbH ₂ O/min) at 68°F	62.32
	*cubic meters per second (m ³ /s)	0.028 317
cubic inches (in ³)	cubic meters per minute (m ³ /min)	1.699
	cubic meters per hour (m ³ /h)	101.9
	gallons—U.S. per minute (U.S. gal/min)	448.8
	gallons—U.S. per 24 hours (U.S. gpd) (see table—pages 2-6 and 2-7)	646 315
	liters per second (L/s)	28.32
*cubic meters (m ³)	cubic centimeters (cm ³)	16 387
	cubic feet (ft ³)	0.000 578 7
	*cubic meters (m ³)	0.000 016 387
	cubic yards (yd ³)	0.000 021 43
	gallons—U.S. (U.S. gal)	0.004 329
	gallons—imperial (imp gal)	0.003 605
	*liters (L)	0.016 387
*cubic meters per hour (m ³ /h)	cubic inches (in ³)	61 024
	cubic feet (ft ³)	35 315
	cubic yards (yd ³)	1 308 0
	gallons—U.S. (U.S. gal)	264 17
	gallons—imperial (imp gal)	219.97
*cubic meters per second (m ³ /s)	liters (L)	1 000
	cubic meters per minute (m ³ /min)	0.016 667
	*cubic meters per second (m ³ /s)	0.000 277 78
	gallons U.S. per minute (U.S. g/min)	4.403 3
	liters per second (L/s)	0.277 78
*cubic meters per second (m ³ /s)	*cubic meters per hour (m ³ /h)	3 600
	gallons U.S. per minute (U.S. gpm)	15 850

INGERSOLL-RAND

General Conversion Factors (Continued)
*Indicates preferred SI system units

To convert from	To	Multiply by
*kilometers (km)	feet (ft)	3 280.8
	miles (mi)	0.621 37
kilometers per hour (km/h)	centimeters per second (cm/s)	27.778
	feet per second (ft/s)	0.911 3
	feet per minute (ft/min)	54.68
	international knots (kn)	0.539 96
	meters per minute (m/min)	16.667
	*meters per second (m/s)	0.277 78
kilometers per hour per second (km/h-s)	centimeters per second squared (cm/s ²)	27.778
	*meters per second squared (m/s ²)	0.277 78
kilometers per second (km/s)	miles per minute (mi/min)	37.28
*kilopascals (kPa)	dynes per square centimeter (dy/cm ²)	10 000
	feet of water (H ₂ O) at 68°F	0.335 1
	inches of mercury (inHg) at 32°F	0.295 3
	inches of water (inH ₂ O) at 68°F	4.021
	kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	0.010 197
	pascals (Pa) (or newtons per square meter (N/m ²))	1 000
	pounds-force per square inch (lbf/in ²) (psi)	0.145 0
kiloponds	*newton (N)	9.807
	kilograms-force (kgf)	1
	pounds-force (lbf)	2.204 6
	poundals	70.932
	kips	0.002 205
kips (1000 lbf)	*newton (N)	4 448
	kilogram-force (kgf)	453.6
	pounds-force (lbf)	1 000
	poundal	32 174
	kilopond	453.6
kips per square inch (ksi)	*kilopascals (kPa)	6 894.8
	kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	70.307
	bars (bar)	68.94
	pounds per square inch (psi)	1 000
*kilowatts (kW)	British thermal units per minute (Btu/min)	56.92
	foot-pounds-force per minute (ft-lbf/min)	44 254
	foot-pounds-force per second (ft-lbf/s)	737.5
	horsepower (hp)	1.341 0
	kilocalories per minute (kcal/min)	14.34

TABLES AND CHARTS

General Conversion Factors (Continued)
*Indicates preferred SI system units

To convert from	To	Multiply by
kilowatt hours (kW-h)	British thermal units (Btu) (see note)	3 413
	foot-pounds-force (ft-lbf)	2 655 000
	horsepower hours (hp-h)	1.341 0
	*joules (J)	3 600 000
	kilocalories (kcal)	860
	kilogram-force meters (kgf-m)	367 100
knots (international)	*meters per second (m/s)	0.514 4
	miles per hour (mph)	1.151 6
*liters (L)	cubic centimeters (cm ³)	1 000
	cubic feet (ft ³)	0.035 315
	cubic inches (in ³)	61.024
	cubic meters (m ³)	0.001
	cubic yards (yd ³)	0.001 308
	gallons U.S. (U.S. gal)	0.264 18
	gallons Imperial (imp gal)	0.220 0
*liters per minute (L/min)	cubic feet per second (ft ³ /s)	0.000 588 5
	*liters per second (L/s)	0.016 67
	gallons (U.S.) per second (U.S. gal/s)	0.004 403
	gallons (Imperial) per minute (imp gal/min)	0.264 18
	gallons (Imperial) per minute (imp gal/min)	0.003 666
*liters per second (L/s)	cubic meters per second (m ³ /s)	0.001
	cubic meters per minute (m ³ /min)	0.06
	cubic meters per hour (m ³ /h)	3.600
	liters per minute (L/min)	60
	gallons (U.S.) per minute (U.S. gal/min)	15.85
gallons (Imperial) per minute (imp gal)	13.20	
*megapascals (MPa)	kilograms-force per square millimeter (kgf/mm ²)	0.101 97
	kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	10.197
	*kilopascals (kPa)	1 000
	*pascals (Pa)	1 000 000
	pounds-force per square inch (lbf/in ²) (psi)	145.0
*meters (m)	feet (ft)	3.280 8
	inches (in)	39.370
	yards (yd)	1.093 6
*meters per minute (m/min)	centimeters per second (cm/s)	1.666 7
	feet per minute (ft/min)	3.280 8
	feet per second (ft/s)	0.054 68
	kilometers per hour (km/h)	0.060 0
	miles per hour (mph)	0.037 28

INGERSOLL-RAND

General Conversion Factors (Continued)
*Indicates preferred SI system units

To convert from	To	Multiply by
grams (g)	grains (gr)	15.432
	ounces-avoirdupois (oz)	0.035 274
	pounds-avoirdupois (lb)	0.002 204 6
grams-force (gf)	*newtons (N)	0.009 806 6
grams-force per centimeter (gf/cm)	*newtons per meter (N/m)	98.07
	pounds-force per inch (lbf/in)	0.005 600
grams per cubic centimeter (g/cm ³)	*kilograms per cubic meter (kg/m ³)	0.001
	pounds per cubic inch (lbf/in ³)	0.036 13
	pounds per cubic foot (lbf/ft ³)	62.427
*grams per liter (g/L)	grains per U.S. gallon (gr/U.S. gal)	56.417
	parts per million (ppm) by mass weight in water	1 000
	pounds per cubic foot (lbf/ft ³)	0.062 242 7
	pounds per 1000 U.S. gallons	8.354 4
hectares (ha)	acres	2.471 0
	square feet (ft ²)	107 639
	*square meters (m ²)	10 000
horsepower (hp)	British thermal units per minute (see note) (Btu/min)	42.43
	foot-pounds force per minute (ft-lbf/min)	33 000
	foot-pounds force per second (ft-lbf/s)	550
	kilocalories per minute (kcal/min)	10.69
	*kilowatts (kW)	0.745 7
	horsepower-metric	1.013 9
*watts (W)	745.7	
horsepower-boiler	British thermal units per hour (see note) (Btu/h)	33 479
	kilowatts (kW)	9.809 5
	pounds of water evaporated per hour at 212°F	34.5
horsepower hours (hp-h)	British thermal units (Btu)	2 545
	foot-pounds-force (ft-lbf)	1 980 000
	*joules (J)	2 684 500
	kilocalories (kcal)	641.5
	kilogram-force-meters (kgf-m)	273 200
	*kilowatt-hours (kW-h)	0.745 7
inches (in)	centimeters (cm)	2.540
	*meters (m)	0.025 40
	*millimeters (mm)	25.40

TABLES AND CHARTS

General Conversion Factors (Continued)
*Indicates preferred SI system units

To convert from	To	Multiply by
inches of mercury (inHg) at 0°C	atmospheres (standard) (atm)	0.033 42
	bars (bar)	0.033 864
	feet of water (H ₂ O) at 68°F	1.135
	inches of water (inH ₂ O) at 68°F	13.62
	kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	0.034 532
	kilograms-force per square meter (kgf/m ²)	345.32
	*kilopascals (kPa)	3.386 4
inches of water (inH ₂ O) at 68°F	atmosphere (standard) (atm)	0.002 454
	bars (bar)	0.002 487
	inches of mercury (inHg) at 0°C	0.073 42
	kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	0.002 535
	*kilopascals (kPa)	0.246 7
	ounces-force per square inch (ozf/in ²)	0.577 0
	pounds-force per square foot (lbf/ft ²) (psi)	5.193
*joules (J)	British thermal units (see note) (Btu)	0.000 948 4
calories (cal) (thermochemical)	0.239 0	
foot-pounds-force (ft-lbf)	0.737 56	
watt-hours (W-h)	0.000 277 78	
kelvin (K)	(see temperature—page 117)	
*kilograms (kg)	pounds (lb)	2.204 6
	tons (ton) short	0.001 102 3
kilograms-force (kgf)	*newtons (N)	9.806 6
	pounds-force (lbf)	2.204 6
kilograms-force per meter (kgf/m)	*newtons per meter (N/m)	9.806 6
	pounds-force per foot (lbf/ft)	0.672 1
kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	atmospheres (standard) (atm)	0.967 8
	bars (bar)	0.980 66
	feet of water (H ₂ O) at 68°F	32.87
	inches of mercury (inHg) at 0°C	29.96
	*kilopascals (kPa)	98.066
	pounds-force per square foot (lbf/ft ²) (psi)	2 048
pounds-force per square inch (lbf/in ²) (psi)	14.223	
kilograms-force per square millimeter (kgf/mm ²)	kilograms-force per square meter (kgf/m ²)	1 000 000
	*megapascals (MPa)	9.806 6

INGERSOLL-RAND

General Conversion Factors (Continued)

*Indicates preferred SI system units

To convert from	To	Multiply by
*meters per second (m/s)	feet per minute (ft/min)	196.8
	feet per second (ft/s)	3.281
	kilometers per hour (km/h)	3.600
	kilometers per minute (km/min)	0.060 0
	miles per hour (mph)	2.237
miles per minute (mi/min)	0.037 28	
*micrometers (formerly microns)	*meters (m)	0.000 001
mils (0.001 inches)	*millimeters (mm)	0.025 4
miles	feet (ft)	5 280
	*kilometers (km)	1.609 3
	*meters (m)	1 609.3
	yards (yd)	1 760
miles per hour (mph)	centimeters per second (cm/s)	44.70
	feet per minute (ft/min)	88
	feet per second (ft/s)	1.466 7
	international knots (kn)	0.869 0
	*kilometers per hour (km/h)	1.609 3
*meters per minute (m/min)	26.82	
milligrams per liter (mg/L)	parts per million (ppm)	1.0
*millimeters (mm)	inches (in)	0.039 370
millimeters of mercury at 0°C (mmHg)	bars (bar)	0.001 333 2
	feet of water at 68°F	0.048 83
	inches of mercury (inHg)	0.048 83
	inches of water (55°F)	0.535 116
	kilograms per square centimeter (kg/cm ²)	0.001 359 5
*pascals (Pa)	133.32	
pounds per square inch (psi)	0.019 336 8	
minutes, angular (')	radians (rad)	0.000 290 9
*newtons (N)	dynes (dyn)	100 000
	kilograms-force (kgf)	0.101 97
	poundals	7.233 0
	pounds-force (lbf)	0.224 8

TABLES AND CHARTS

General Conversion Factors (Continued)

*Indicates preferred SI system units

To convert from	To	Multiply by
ounces-avoird (oz)	drams-avoird (dr)	16
	grains (gr)	437.5
	*grams (g)	28.349 5
	*kilograms (kg)	0.028 350
	pounds-avoird (lb)	0.062 50
tons (ton) long	0.000 226 90	
*tonnes (t) metric ton	0.000 226 350	
ounces—U.S. fluid	cubic inches (in ³)	1.804 6
	*liters (L)	0.029 57
ounces-force per square inch (ozf/in ²)	grams-force per square centimeter (gf/cm ²)	4.395
	*pascals (Pa)	43.1
	pounds-force per square inch (lbf/in ²) (psi)	0.062 50
parts per million by mass (ppm)	grains per U.S. gallon at 60°F (gr/U.S. gal)	0.058 3
	grains per imperial gallon at 62°F (gr/imp gal)	0.070 0
	grams per cubic meter (g/m ³) at 15°C	0.999 1
	*milligrams per liter (mg/L)	1.0
	pounds per million U.S. gallons at 60°F	8.326
*pascals (Pa)	bars (bar)	0.000 01
	dynes per square centimeter (dyn/cm ²)	10.0
	grams-force per square centimeter (gf/cm ²)	0.010 197
	kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	0.000 010 197
	*kilopascals (kPa)	0.101 97
*newtons per square meter (N/m ²)	1.0	
pounds-force per square inch (lbf/in ²) (psi)	0.000 145 0	
poise	centipoises (CP)	100
	pascal second (Pa·s)	0.100 0
	pound-force-second per square foot (lbf·s/ft ²)	0.002 088 6
	pounds per foot second (lbf/ft·s)	0.067 21
poundals	*newtons (N) (joules per meter)	0.138 26
pounds-force (lbf)	kilograms-force (kgf)	0.453 59
	*newtons (N)	4.448 2
pounds-avoird (lb)	drams-avoird (dr)	256
	grains (gr)	7 000
	*grams (g)	453.59
	*kilograms (kg)	0.453 59
	ounces-avoird (oz)	16
*tonnes-metric tons (t)	0.000 453 59	
tons—long	0.000 446 43	
tons—short	0.000 5	

INGERSOLL-RAND

General Conversion Factors (Continued)

*Indicates preferred SI system units

To convert from	To	Multiply by
pounds per foot (lb/ft)	*kilograms per meter (kg/m)	1.488 2
pounds per square foot (lb/ft ²)	*kilograms per square meter (kg/m ²)	4.882 4
pounds-mass of water at 60°F	cubic centimeters (cm ³)	454.00
	cubic feet (ft ³)	0.016 03
	cubic inches (in ³)	27.70
	gallons (U.S.) (U.S. gal)	0.119 93
liters (L)	0.453 98	
pounds of water per minute at 60°F	cubic centimeters per second (cm ³ /s)	7.566 7
	cubic feet per second (ft ³ /s) (cfs)	0.000 267 5
	*cubic meters per minute (m ³ /min)	0.000 453 98
	*kilograms per second (kg/s)	0.007 559 9
pounds per cubic foot (lb/ft ³)	grams per cubic centimeter (g/cm ³)	0.016 018
	*kilograms per cubic meter (kg/m ³)	16.018
	pounds per cubic inch (lb/in ³)	0.000 578 7
pounds per cubic inch (lb/in ³)	grams per cubic centimeter (g/cm ³)	27.68
	*kilograms per cubic meter (kg/m ³)	27.680
	pounds per cubic foot (lb/ft ³)	1 728
pounds-force per foot (lbf/ft)	grams-force per centimeter (gf/cm)	14.882
	kilograms-force per meter (kgf/m)	1.488 2
	*newtons per meter (N/m)	14.594
pounds-force per square foot (lbf/ft ²)	feet of water (ftH ₂ O) at 68°F	0.016 05
	kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	0.000 486 2
	*kilopascals (kPa)	0.004 788 0
	*pascals (Pa)	47.880
pounds-force per square inch (lbf/in ²) (psi)	0.006 944 4	
pounds-force per square inch (lbf/in ²) (psi)	atmospheres (standard) (atm)	0.068 05
	feet of water (ftH ₂ O) at 68°F	2.311
	inches of water (inH ₂ O) at 68°F	27.73
	inches of mercury (inHg) at 0°C	2.036
	kilograms-force per square centimeter (kgf/cm ²)	0.070 31
*kilopascals (kPa)	6.894 8	
quarts—dry (qt dry)	cubic centimeters (cm ³)	1 101.2
	cubic inches (in ³)	67.20
	*cubic meters (m ³)	0.001 101 2
quarts—liquid (qt liquid)	cubic centimeters (cm ³)	946.35
	cubic inches (in ³)	57.75
	*liters (L)	0.946 35
radians (rad)	degrees (°) angular	57.296

TABLES AND CHARTS

General Conversion Factors (Continued)

*Indicates preferred SI system units

To convert from	To	Multiply by	
radians per second (rad/s)	degrees per second (°/s) angular	57.296	
	revolutions per minute (r/min)	9.549	
revolutions per minute (r/min)	degrees per second (rad/s)	6	
	radians per second (rad/s)	0.014 72	
square centimeters (cm ²)	square inches (in ²)	0.155 0	
square feet (ft ²)	acres	0.000 222 956	
	*square meters (m ²)	0.092 903	
square inches (in ²)	square centimeters (cm ²)	6.451 6	
square kilometers (km ²)	acres	247.10	
square meters (m ²)	square feet (ft ²)	0.000 247 10	
square miles	acres	640	
square yards (yd ²)	square kilometers (km ²)	2.590	
standard cubic feet per minute (scfm) (at 14.696 psia and 60°F)	cubic meters per hour (m ³ /h) at standard conditions (15°C and 101.325 kPa)	1.695 7	
	liters per second (L/s) at standard conditions (15°C and 101.325 kPa)	0.471 03	
stokes	square feet per second (ft ² /s)	0.001 076	
	*square meters per second (m ² /s)	0.000 1	
temperature	(see tables—page 102 to 104)		
	degrees Fahrenheit (°F)	*degrees Celsius (°C)	°C = 5/9(°F - 32°)
	*degrees Celsius (°C)	degrees Fahrenheit (°F)	*°F = 9/5°C + 32°
	degrees Fahrenheit (°F)	*kelvin (K)	K = (°F + 459.69)/5.9
	*degrees Celsius (°C)	*kelvin (K)	K = °C + 273.16°
degrees Rankine (°R)	*kelvin (K)	K = °R/1.8	
tons—long	*kilograms (kg)	1 016.0	
	metric tons (t)	1.016 0	
	pounds-avoird (lb)	2 240	
	tons—short	1.120	

		
General Conversion Factors (Continued) *Indicates preferred SI system units		
To convert from	To	Multiply by
*tonnes-metric ton	*kilograms (kg)	1 000
	pounds (lb)	2 204.6
tons—short	*kilograms (kg)	907.18
	pounds-avoir (lb)	2 000
	tons—long	0.892 86
	tonnes (metric ton) (t)	0.907 2
tons (short) of water per 24 hours (at 60°F)	cubic feet per hour (ft ³ /h)	1.338
	cubic meters per hour (m ³ /h)	0.037 89
	gallons (U.S.) (U.S. gal/min)	0.166 8
	pounds of water per hour (lbH ₂ O/h) at 60°F	83.333
tons of refrigeration	British thermal units (Btu) (see note) per hour	12 000
	British thermal units (Btu) (see note) per 24 hours	288 000
*watts (W)	British thermal units (Btu) per minute (Btu/min)	0.056 91
	foot-pounds-force per second (ft-lbf/s)	0.737 56
	foot-pounds-force per minute (ft-lbf/min)	44.254
	horsepower (hp)	0.001 341 0
	joules per second (J/s)	1.0
	kilocalories per minute (kcal/min)	0.014 340
watt-hours (W·h)	British thermal units (Btu)	3.413
	foot-pounds-force (ft-lbf)	2 655
	horsepower hours (hp·h)	0.001 341 0
	*joules (J)	3 600
	kilocalories (kcal)	0.860 4
yards (yd)	kilograms-force-meters (kgf·m)	367.10
	*meters (m)	0.914 40

NOTE: BRITISH THERMAL UNITS (Btu)—since there are several definitions of the Btu, the values of applicable and/or equivalent factors may vary slightly depending on the definition used. In the accompanying tables of conversion factors, the first three or four significant figures given, in most cases, are common to most definitions of the Btu; if greater accuracy is required for certain calculations then reference to the appropriate handbooks and standards should be made.

Anexo 8. Diámetros de tubería de cobre

Tabla 1. Especificaciones de tubería de cobre

D. Nominal		D. Externo	D. Interno Tipo L
mm	pulg	mm	mm
6.3	1/4	9.52	7.99
9.5	3/8	12.70	10.92
12	1/2	15.87	13.84
16	5/8	19.05	16.92
19	3/4	22.22	19.93
25	1	28.57	26.03
32	1 ¼	34.92	32.12
38	1 ½	41.27	38.22
50	2	53.97	50.41
62	2 ½	66.67	62.61
75	3	79.37	74.80
100	4	104.80	99.18
125	5	130.20	123.80

Anexo 9. Tabla para el cálculo de gasto en sopladores

212

Tabla 11.6 Gasto de los sopladores

Gasto en m³ min aire libre (760 mm Hg, 20 °C)

Diámetro del orificio, mm	Presión efectiva en kg cm ²											
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	20	30
0.1	0.00027	0.00036	0.00045	0.00054	0.00063	0.00072	0.00081	0.00099	0.00117	0.00144	0.00188	0.00279
0.2	0.00109	0.00145	0.00181	0.00217	0.00252	0.00288	0.00324	0.00396	0.00468	0.00575	0.00755	0.0111
0.3	0.00245	0.00326	0.00406	0.00487	0.00568	0.00649	0.00730	0.00891	0.0105	0.0130	0.0170	0.0251
0.5	0.00681	0.00905	0.0113	0.0135	0.0158	0.0180	0.0203	0.0248	0.0292	0.0360	0.0472	0.0696
1.0	0.0272	0.0362	0.0452	0.0541	0.0631	0.0721	0.0811	0.0990	0.117	0.144	0.188	0.279
1.5	0.0613	0.0815	0.102	0.122	0.142	0.162	0.183	0.223	0.263	0.323	0.425	0.627
2.0	0.109	0.145	0.181	0.217	0.252	0.288	0.324	0.396	0.468	0.575	0.755	1.11
3.0	0.245	0.326	0.406	0.487	0.568	0.649	0.730	0.891	1.05	1.30	1.70	2.51
4.0	0.436	0.579	0.723	0.865	1.01	1.15	1.30	1.585	1.87	2.30	3.02	4.45
5.0	0.681	0.905	1.13	1.35	1.58	1.80	2.03	2.48	2.93	3.60	4.72	6.96
6.0	0.981	1.304	1.63	1.95	2.27	2.60	2.92	3.57	4.22	5.18	6.80	10.0
8.0	1.75	2.32	2.89	3.46	4.04	4.62	5.19	6.34	7.50	9.20	12.1	17.8
10.0	2.72	3.62	4.52	5.41	6.31	7.21	8.11	9.90	11.7	14.4	18.8	27.9
12.0	3.92	5.22	6.50	7.78	9.09	10.4	11.68	14.3	16.9	20.7	27.2	40.1
15.0	6.13	8.15	10.2	12.2	14.2	16.2	18.25	22.3	26.3	32.3	42.5	62.7
20.0	10.9	14.5	18.1	21.7	25.2	28.8	32.4	39.6	46.8	57.5	75.5	111
25.0	17.0	22.6	28.2	33.8	39.5	45.0	50.7	61.9	73.1	90.0	118	
30.0	24.5	32.6	40.6	48.7	56.8	64.9	73.0	89.1	105	130		
35.0	33.4	44.4	55.3	66.3	77.3	88.3	99.3	121	144			
40.0	43.6	57.9	72.3	86.5	101	115	130	159				
45.0	55.2	73.3	91.3	110	128	146						
50.0	68.1	90.5	113	135								
55.0	82.4	109.5	136									
60.0	98.1	130.4										

Anexo 10. Mantenimiento Predictivo

Los beneficios del Mantenimiento Predictivo o Mecanálisis. El éxito de una compañía depende con frecuencia del funcionamiento ininterrumpido, seguro y productivo de las máquinas rotativas. Un programa de mantenimiento eficaz es fundamental para dicho éxito. El nivel de calidad del programa de mantenimiento instituido en una compañía determina la vida útil de las máquinas, la seguridad que ofrecen para el personal que las atiende y la productividad de las éstas. Los beneficios del mecanálisis son los siguientes:

a. Prolonga la vida útil de la maquinaria

Las costosas máquinas de producción y equipos de apoyo de la planta pueden ser sometidos a un nivel de mantenimiento que satisfaga o incluso supere las expectativas de su vida útil. Esto significa que la compañía podrá reducir la inversión de capital a largo plazo para la adquisición de máquinas nuevas y mantener el mismo nivel y. calidad de producción.

b. Reduce los tiempos muertos no programados

Las interrupciones debidas a fallas imprevistas ocasionan graves trastornos en los cronogramas de producción y aumentan terriblemente sus costos. Un programa eficiente de mecanálisis permite detectar un problema antes de que se torne crítico, pudiendo programar una parada para mantenimiento más adelante, en un momento más oportuno para los cronogramas operativos y de producción de la compañía.

c. Elimina las reparaciones generales

Las inspecciones anuales y las reparaciones generales de rutina significan tiempo y dinero. Con el fin de prevenir una interrupción por fallas imprevistas, con frecuencia se quitan máquinas de la línea y se desarman cuando en realidad no hay nada descompuesto. Gracias al Mecnálisis, una máquina puede funcionar en forma continua hasta detectar un problema en las etapas iniciales. Esto a menudo significa que usted podrá hacer funcionar la máquina por periodos de tiempo mucho más largos de lo que podría obtener con un programa de mantenimiento preventivo.

d. Elimina la necesidad de equipos de reserva

La existencia de equipos de reserva inactivos ya no constituye una inversión prudente para las plantas nuevas o en expansión. La maquinaria de reserva, o redundante, tiene la finalidad de soportar el volumen de las operaciones en la eventualidad de una falla inesperada. Un buen programa de Mecnálisis permite programar una parada para mantenimiento en un momento cuando la misma tenga un efecto mínimo en las operaciones normales.

e. Permite operaciones más eficientes

Una vibración indeseable y el ruido relacionado con la misma menoscaban el ambiente de trabajo, causando fatiga innecesaria del personal, incrementando el potencial de accidentes y, en general, disminuyendo la productividad de los trabajadores. Si bien un cierto nivel de ruido es parte inherente del funcionamiento de las máquinas, un programa eficaz de Mecnálisis contribuye a que las mismas sigan funcionando dentro de niveles mínimos de ruido inherente.

f. Incrementa la seguridad de la maquinaria

Algunos tipos de defectos de a maquinaria constituyen graves peligros para la seguridad. El riesgo para el personal que trabaja en las cercanías de la máquina aumenta al alcanzar el defecto un punto crítico y en algunos casos, los indicios obvios de problemas se revelan solo unos instantes antes de que ocurra una falla catastrófica y peligrosa. Un buen programa de Mecanálisis le permite identificar los síntomas de una falla mucho antes de que la situación se torne incontrolable.

g. Mejora la calidad de la producción

El funcionamiento silencioso y suave de las máquinas es un factor de importancia vital en la producción de artículos de calidad y en la confiabilidad de los servicios. Al mantener un bajo nivel de las vibraciones de las máquinas un buen programa de Mecanálisis asegura un elevado nivel de la calidad del producto, reduciendo al mínimo el porcentaje de piezas rechazadas

h. Aumenta la satisfacción del cliente

Los clientes satisfechos constituyen la base de un negocio redituable que sigue repitiéndose. Para entregar equipos bien balanceados y perfectamente alineados, las compañías que fabrican equipos rotativos pueden utilizar las técnicas de Mecanálisis, garantizando así la satisfacción de sus clientes durante la puesta en marcha en la planta.

MANTENIMIENTO DE FALLAS

En caso de mantenimiento por fallas, la máquina se deja funcionar hasta que una rotura total, la ineficiencia o la inutilización de la producción obliguen paralizarla. Aun cuando muchas máquinas se someten a este tipo de mantenimiento, éste tiene varias desventajas. Primeramente, las fallas pueden ocurrir en el momento menos oportuno, siendo prácticamente, imposible prever con tiempo las herramientas, el personal y repuestos necesarios. En segundo lugar, las máquinas que se dejan funcionar hasta el punto de rotura con frecuencia requieren reparaciones más extensas de lo que se necesitaría si el problema hubiese sido detectado y corregido temprano. Algunas fallas pueden ser catastróficas y requerir el reemplazo total de la máquina. Algunas fallas constituyen también un problema de seguridad para los operadores y demás personal. Además, el costo consiguiente por la pérdida de producción, mientras la unidad se encuentra paralizada, puede ser exorbitante.

MANTENIMIENTO PROGRAMADO (PREVENTIVO)

En comparación con el mantenimiento por las fallas, un programa de desarmado e inspección periódica tiene las claras ventajas de disminuir la frecuencia de reparaciones para rotura y permitir una parada programada. Con este programa se pone fuera de servicio cada máquina crítica después de un determinado periodo de funcionamiento, desarmándola, parcial o totalmente, para una inspección minuciosa y el reemplazo de piezas desgastadas, si las hubiere. También este enfoque de mantenimiento de máquinas tiene sus desventajas. Ante todo, el desarmar periódicamente cada pieza crítica del equipo de una planta es costoso tanto en dinero como el tiempo. En segundo lugar, el intervalo entre inspecciones periódicas es difícil de predecir. Si el programa tiene mucho éxito y no ocurren fallas, significa que el intervalo es demasiado breve y se está derrochando dinero. En tercer lugar, una máquina que funcione satisfactoriamente puede, en realidad, ser perjudicada por un desarmado frecuente. Existe siempre la probabilidad de que una empaquetadura o un sello sean instalados incorrectamente, que los pernos no estén debidamente apretados, o que el alineamiento o

balanceo original de la máquina sea alterado durante el rearmado. Además, algunos problemas, tales como el desbalance, son evidentes únicamente durante el funcionamiento.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO O MECANÁLISIS

La detección en línea y el diagnóstico de problemas en una máquina es obviamente el método de mantenimiento más conveniente. Si el problema puede detectarse anticipadamente, cuando los defectos son leves y no afectan el funcionamiento de la máquina, y si se puede diagnosticar la naturaleza del problema mientras la máquina está funcionando; podrá programarse una parada por reparaciones para un momento oportuno. Se podrá organizar un cronograma de los trabajos, junto con los requerimientos de personal, herramientas y piezas de repuestos, antes de llevar a cabo la parada programada.

Podrá reducirse al mínimo la posibilidad de daños considerables a la máquina como resultado de los esfuerzos de una falla. Podrá mantenerse a un mínimo el tiempo de reparaciones con la ventaja de un menor tiempo de paralización de la maquinaria. Desde luego, las máquinas en buenas condiciones operativas podrán seguir funcionando mientras no se presenten problemas. No hace falta desperdiciar tiempo y dinero desarmando máquinas que funcionan normalmente.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Un Programa de Mantenimiento Predictivo (PMP) eficaz es un programa integral de detección, análisis y corrección.

Se trata de una secuencia lógica de pasos. El programa le ayuda primero a detectar el inicio de un problema. Luego le proporciona los medios para analizar el problema con el fin de determinar su causa y por último, le da la posibilidad de corregir el problema con

efectividad y eficientemente en un momento oportuno. A continuación se presentan los pasos para un programa de mantenimiento predictivo:

a. Detección

El primer paso del programa consiste en la detección del problema. Esto significa prestar suma atención al nivel de vibración de una máquina y tomar nota de cualquier incremento, pues éste es el indicio de un problema mecánico en ciernes.

Todas las máquinas incluidas en el programa deberán ser sometidas a pruebas o verificación de esta manera, de acuerdo con un cronograma específico. Algún tipo de máquinas podrá ser destinado a la verificación una vez cada dos meses, algunas a intervalo de varias semanas, otras todos los días y, en caso de máquinas particularmente críticas, la verificación podrá efectuarse en forma continua. Las lecturas de las vibraciones que se tomen con estos instrumentos manuales de verificación deberán registrarse en una planilla de datos. Nótese que la planilla de datos incluye un diagrama de la máquina e indica las lecturas del vibrómetro como un gráfico de las éstas, proporcionan un historial claro de las condiciones de las máquinas. Una tendencia hacia niveles de vibración cada vez mayores es una señal de problema inminente. En las plantas de gran envergadura posiblemente deban utilizarse centenares de puntos de medición y una variedad de cronogramas de verificación diferentes. En dichos casos es aconsejable informatizar el procedimiento. Al igual que con los vibrómetros portátiles manuales, el usuario debe conectar el colector de datos. No hay necesidad de hacer anotaciones. Luego, el colector de datos es llevado de vuelta a una computadora central donde la información recolectada es transferida al sistema de archivo interno de la computadora. El colector de datos y el sistema informatizado de manejo de datos tienen la misma función que el sencillo vibrómetro y hoja de datos. El sistema informatizado simplemente maneja todas las cifras, los gráficos y datos en forma electrónica.

Mediante el uso de vibrómetros y colectores de datos, un técnico puede tomar lecturas de muchas máquinas en toda la planta en un periodo de tiempo relativamente breve. No obstante, hay ciertas máquinas que no son muy accesibles para una verificación manual. Máquinas de alto rendimiento como las turbinas de vapor y gas, bombas centrífugas de alta velocidad y compresores, pueden desarrollar problemas muy rápidamente y con poco o ningún aviso adelantado. Este tipo de máquinas requiere un sistema de verificación automático.

La verificación automática requiere el uso de un instrumento llamado medidor de vibración. Captadores de vibración, instalados de forma permanente en puntos estratégicos de la máquina, detectan constantemente el nivel de la vibración. Cuando la vibración excede un nivel preestablecido, un *relé* en el sistema de monitoreo acciona una alarma de advertencia.

En caso de que la vibración siga aumentando hasta llegar a un punto peligroso, otro relé acciona una máquina de parada o da inicio a una secuencia de operaciones que paran la máquina automáticamente. Existen varios tipos de captadores para la medición de vibración. La selección de un captador determinado depende del tipo de protección que se desee.

b. Análisis

En el contexto del programa integral para control de las condiciones de las máquinas, la medición de vibraciones mediante vibrómetro, colector de datos o monitor es únicamente la parte que corresponde a la detección. Una vez detectado el problema, el paso siguiente consiste determinar su naturaleza del mismo. Es ésta la finalidad del análisis, localizar con precisión un problema específico identificando los síntomas particulares de la vibración de la máquina, es decir, su firma típica de vibración. El análisis de las vibraciones de las máquinas requiere un instrumento especial. Dicho analizador utiliza el mismo tipo de captadores que se emplean para la verificación manual y automática. Este instrumento, sin embargo, cuenta con todas las características para medir la vibración en sus detalles más minuciosos. El problema puede ser identificado comparando dichas lecturas detalladas con otra información acerca de

la máquina, por ejemplo: la velocidad del funcionamiento tipos de rodamientos y acoplamientos, e historial de las vibraciones registradas en el pasado.

Una vez que se haya analizado la causa de un problema de vibración, el prepararse para tomar las medidas correctivas necesarias es una cuestión clara y simple.

c. Corrección

Cuando usted haya seguido los pasos, básicos de un Programa de Mantenimiento Predictivo (PMP) para detectar y analizar un problema en su fase inicial, podrá organizar la corrección para el período que mejor convenga al cronograma de operaciones de la compañía. Averías de la maquinaria, tales como rodamientos desgastados, engranajes defectuosos, holgura de piezas o falta de alineamiento, pueden ser corregidas mediante procedimientos bien conocidos por el personal de mantenimiento en todo el sector. Sin embargo, la corrección de problemas como el desbalance y la resonancia exige habilidades y conocimientos especializados. Cuando el problema de la máquina es debido a un desbalance, la corrección puede a veces efectuarse in-situ utilizando el mismo analizador-balanceador que se emplea para diagnosticar el problema.

¿CÓMO ORGANIZAR UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO?

El mantenimiento predictivo es un método sistemático de verificación y observación de las tendencias del equipo rotativo en forma programada y regular con el fin de determinar el estado de las máquinas sujetas a deterioro. La identificación de tendencias y el diagnóstico mediante la detección con la máquina en línea proporcionan un aviso temprano, eliminando prácticamente la necesidad de un desarmado e inspección periódicas y la posibilidad de una falla inesperada que obligue a la paralización del equipo. Hay doce pasos esenciales involucrados en la organización de un Programa de Mantenimiento Predictivo.

d. Reconocimiento de la planta

El primer paso consiste en determinar la factibilidad de establecer un PMP. Bajo un punto de vista ideal, éste debería estar basado en un análisis de la condición de la maquinaria existente en la planta en términos de disponibilidad, confiabilidad, tiempos muertos, etc. Estas informaciones raramente están disponibles; sin embargo, la factibilidad de un mantenimiento con base en la condición es juzgada de acuerdo con la cantidad y al tipo de máquinas de vasta experiencia con que cuentan los consultores del PMP.

e. Selección de las máquinas

El objetivo en este paso es abarcar: una cantidad manejable de máquinas tomando en cuenta los requisitos de personal, los cronogramas de producción, el costo de los tiempos muertos, etc.

f. Selección de técnicas óptimas para la verificación de la condición

Esta etapa se ocupa del QUÉ CUÁNDO, y DÓNDE efectuar la verificación de la condición, ¿Qué medir? En realidad existe un parámetro que es indicativo de la condición de la máquina y del avance de una falla.

¿Qué medir? En realidad un parámetro que es indicativo de la condición de la máquina y del avance de una falla.

¿Cómo medir? Existe a disposición instrumentos y técnicas capaces de comprobar el parámetro.

¿Cuándo medir? La técnica de verificación debe poder proporcionar un período útil para la detección de la falla — el tiempo de aviso anticipado entre la confirmación de un problema y

una eventual falla catastrófica de la máquina. Este hecho determinará (a frecuencia de la verificación).

¿Dónde medir? El punto de la medición es de suma importancia para obtener una detección temprana de los defectos de las máquinas.

g. Implantación del sistema del mantenimiento predictivo

Una vez establecidas las técnicas óptimas para la verificación de cada unidad de la planta, éstas son integradas en un programa racional que comprende:

1. La definición de cronogramas de inspección.
2. El diseño de un sistema sencillo para el manejo de datos, a saber:
 - Recopilación de datos.
 - Registro de datos.
 - Análisis de datos.
3. Redacción y presentación de informes.
4. Un programa de entrenamiento e instrucción para el personal.

h. Fijación y revisión de datos y Límites de condición aceptable

La finalidad de este paso es establecer los niveles “normales” de los parámetros para la verificación de la condición, que representa una condición aceptable de la máquina. Esto, en realidad, puede establecerse únicamente en base a la experiencia y a los datos históricos. Sin embargo, en las etapas iniciales cuando no se dispone de dichos datos, podrán utilizarse como guía las recomendaciones del fabricante y las tablas de índices generales de severidad correspondientes.

Con base en dichos niveles “normales” se establecerán límites de acción que representen un deterioro significativo de la condición y proporcionen una advertencia razonable de falla inminente.

i. Mediciones de referencia de las máquinas

Puesto que en un comienzo la condición mecánica de la máquina no es evidente, es necesario establecerla mediante la aplicación de las técnicas de verificación seleccionadas y la comparación entre las mediciones observadas y los límites aceptables preestablecidos. Cuando la condición de la máquina resulta aceptable, ésta pasa a formar parte del programa de verificación rutinaria. Las mediciones de referencia sirven de “huella digital para la comparación en caso de que se detecte una falla durante la vida útil de la máquina. La eventualidad de que la máquina se demostrara inaceptable a la luz de los límites establecidos sugeriría la existencia de una condición de defecto o la inexactitud de los límites. En consecuencia, será necesario efectuar un ulterior análisis de la condición de la máquina para localizar y corregir el defecto, de no hallar ninguno, revisar y modificar los límites establecidos.

j. Medición periódica de la condición-(Recopilación, registro, análisis de las tendencias)

Estos pasos representan el programa de verificación rutinaria establecido en los pasos c y d. El objeto de este programa es detectar un deterioro significativo del estado de la máquina mediante el análisis de tendencias de los datos medidos, después de lo cual la máquina será sometida a un ulterior análisis de la condición.

k. Análisis de la condición

Se trata de un análisis profundo de la condición de la máquina, que a menudo conlleva a la aplicación contemporánea de varias técnicas. La finalidad de este paso consiste en confirmar si realmente existe un defecto y llevar a cabo un diagnóstico y pronóstico de la falla, por ejemplo: tipo de falla, ubicación, gravedad, medidas correctivas requeridas.

l. Corrección de las fallas

Una vez diagnosticada la falla, será responsabilidad del departamento de mantenimiento organizar las medidas correctivas. En esta etapa es de suma importancia establecer la causa de la condición de la falla identificada, deberá ser revertido al PMP con el fin de confirmar el diagnóstico y perfeccionar las capacidades de diagnóstico del programa. El programa de Mantenimiento Predictivo puede ser simple o complejo. Un sistema simple puede comenzar con un medidor de vibraciones portátil. Efectuando registros manuales de los niveles de vibración a intervalos regulados pueden detectarse tendencias indeseables. Los programas de Mantenimiento Predictivo pueden ser ampliados incorporando instrumentos adicionales o integrando el programa a un sistema más sofisticado que incluya colectores de datos automatizados, computadoras y software (programas lógicos). En el caso de máquinas críticas tal vez se requieran sistemas de supervisión automática y monitoreo durante las 24 horas del día.

El siguiente caso típico real sirve para ilustrar la importancia de utilizar la vibración para detectar y localizar problemas en los equipos. Verificaciones de rutina de la vibración efectuadas en los equipos críticos de una planta de grandes dimensiones dedicada al procesamiento de gas revelaron la presencia de vibraciones excesivas en un compresor de aire centrífugo. Un análisis posterior de las vibraciones de la máquina denotó un desalineamiento entre el compresor y el incrementador de velocidad. Además, una vibración de alta frecuencia en la caja de engranajes indicó que el engranaje principal del incrementador de velocidad

estaba dañado. Más adelante, una inspección visual reveló una grieta muy delgada en el engranaje. Puesto que en el momento no había disponible un engranaje de repuesto, se taladraron agujeros de contención en ambas extremidades de la grieta para impedir que siguiera extendiéndose. Después de haber realineado la unidad, se volvió a poner el equipo en pleno servicio hasta que pudiera armarse un nuevo engranaje. Cuando el nuevo engranaje estuvo listo, se paró la unidad únicamente por el lapso de tiempo suficiente para sustituir el engranaje. Aun cuando esto llevó cuatro días, una falla total por esfuerzos podría haber obligado a paralizar el equipo por seis meses.

Anexo 11. MegOhmMetro FLUKE 1550B

Medidor de aislamiento 1550B



Fluke 1550B

Comprobación digital de aislamiento de hasta 5.000 voltios 1550B

El modelo Fluke 1550B es un comprobador digital de resistencia de aislamiento diseñado para la medida en conmutadores de alta tensión, motores, generadores y cables de hasta 5.000 V CC. Se puede utilizar para realizar una gran variedad de pruebas: desde comprobaciones puntuales simples hasta comprobaciones temporizadas y de ruptura. El almacenamiento de las medidas y la comunicación con el PC lo convierten en ideal para el mantenimiento preventivo.

- Tensiones de medida de 250 V, 500 V, 1.000 V, 2.500 V, 5.000 V
- Realiza pruebas con pasos programados en incrementos de 50 V entre 250 V y 1kV; incrementos de 100 V entre 250 V y 1 kV e incrementos de 100 V entre 1 kV y 5 kV
- Medida de aislamiento desde 0 a 1 Tera Ohm
- La función de aviso de tensión indica al usuario que existe tensión en bornas y proporciona la lectura de la misma de hasta 600 V CA o CC

- Banda adicional para eliminar las corrientes de fuga superficiales en medidas de aislamientos grandes
- La amplia pantalla LCD analógico/digital representa los datos de la medida con detalle
- Medida de capacidad
- Corriente de fuga
- Función de rampa (0-5000 V CC) para comprobación de tensión de ruptura
- Temporizador de 1 a 99 minutos
- 99 posiciones de memoria para almacenar todos los parámetros de la medida
- Cálculo automático de índice de polarización y absorción dieléctrica
- Incluye el software Quicklink 1550 y cable de comunicación óptico



Accesorios incluidos

Cables de prueba, sondas de 5.000 V nominales, pinzas de cocodrilo, cable de comunicación.
Software Quicklink 1550 PC, estuche de transporte flexible con base impermeable, manual de usuario.

Información para pedidos

Fluke 1550B MegOhmMeter

10489-spa Rev. 05

Especificaciones

Tensión de prueba (CC)	Rango	Exactitud (+/- lectura)
250 V	200 kΩ a 5 GΩ	5%
	5 GΩ a 50 GΩ	20%
500 V	200 kΩ a 10 GΩ	5%
	10 GΩ a 100 GΩ	20%
1.000 V	200 kΩ a 20 GΩ	5%
	20 GΩ a 200 GΩ	20%
2.500 V	200 kΩ a 50 GΩ	5%
	50 GΩ a 500 GΩ	20%
5.000 V	200 kΩ a 100 GΩ	5%
	100 GΩ a 1 TΩ	20%
Corriente de fuga	mayor que 1 mA y menor que 2 mA	
Rango de barra gráfica analógica	0 a 1 TΩ	
Precisión de la tensión de prueba de aislamiento	0% a +10% con corriente de carga de 1 mA	
Supresión de corriente de alimentación CA inyectada	2 mA máximo	
Velocidad de carga para capacidad	5 segundos por pF	
Corriente de fuga	1 nA a 2 mA	± (5% + 2 nA)
Medida de capacidad	de 0,01 pF a 15,00 μF	± (15% lectura + 0,03 pF)
Indicador de circuito con tensión	30 V a 600 V CA/CC, 50/60 Hz	± (5% + 2 V)
Temporizador	de 1 a 99 minutos; ajustable en incrementos de 1 minuto, indicado en intervalos de 1 segundo	
Rampa	de 0% a 100% de la tensión de prueba seleccionada e hasta la ruptura.	

Temperatura de trabajo: -20°C a 50°C
 Temperatura de almacenamiento: -20°C a 65°C
 Humedad relativa: 80% a 31°C, 50% a 50°C
 Resistencia al polvo/agua: IP40
 Altitud de servicio: 0 a 2,000 metros

Batería: 12 voltios, de plomo, recargable
 Tamaño (LxAxF): 170 mm x 242 mm x 330 mm
 Peso: 4 kg (con la batería)
 Garantía: 2 años

Anexo 12. Propuesta de ficha técnica para motores eléctricos

CORRUGADOS DEL GUARCO

FICHA TÉCNICA DE LA MÁQUINA

Código del motor:

Ubicación:

Área:

Fabricante:

Modelo:

Número de Serie:

Potencia:

Tipo de motor:

Número de fases

Voltaje:

Corriente:

Frecuencia :

RPM:

