



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

**DISEÑO DE UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO  
PARA LA EMPRESA CENTRAL DE EMPAQUES, S. A.**

**Estuardo Mario López Mazariegos**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO  
PARA LA EMPRESA CENTRAL DE EMPAQUES, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ESTUARDO MARIO LÓPEZ MAZARIEGOS**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Edwin Eduardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez.

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### DISEÑO DE UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA EMPRESA CENTRAL DE EMPAQUES, S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de marzo de 2012.

  
Estuardo Mario Lopez Mazariegos



Guatemala, 04 de julio de 2014  
REF.EPS.DOC.709.07.14.

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

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Estuardo Mario López Mazariegos** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200212029, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO DE UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA EMPRESA CENTRAL DE EMPAQUES, S.A.**

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

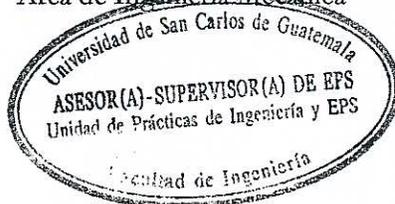
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Supervisor de EPS

Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EESZ/ra



Guatemala, 04 de julio de 2014  
REF.EPS.D.344.07.14

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISEÑO DE UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA EMPRESA CENTRAL DE EMPAQUES, S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Estuardo Mario López Mazariegos** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José R. Riquelme Serrano  
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.134.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Supervisor, con la aprobación del Director del Departamento de EPS, del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA EMPRESA CENTRAL DE EMPAQUES, S.A.** del Estuardo Mario López Mazariegos, con numero de carnet **200212029**, procede a la autorización del mismo.

***"Id y Enseñad a Todos"***

M.A Ing. Julio César Campos Paiz

Director

Escuela de Ingeniería Mecánica

M.A Ing. Julio César Campos Paiz

DIRECTOR

Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, julio de 2014.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA EMPRESA CENTRAL DE EMPAQUES, S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Estuardo Mario López Mazariegos** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, agosto de 2014



/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Mi bandera, oasis, galardón y sin duda alguna, la fuerza que me sostiene y me orienta a seguir la ruta confiable.
- Mis padres** Mario López, Leticia Mazariegos, seres extraordinarios que lucharon hombro a hombro para heredarme el privilegio de ser una persona preparada, capaz de enfrentarse a la vida. Gracias infinitas por su esfuerzo, sin ellos no sería quien soy.
- Mi esposa** Vilma Pineda, gracias por tu apoyo y por compartir mis sueños y luchar conmigo para hacerlos realidad.
- Mis hijas** Camila y Lourdes López, luces que orientan mi vida y motivación para continuar. Mis logros están dedicados a ustedes mis princesas.

- Mi hermano** Jorge Mario López, gracias porque cuando he necesitado una mano amiga siempre has estado ahí para ayudarme incondicionalmente.
- .
- Mi cuñada** Diana Lázaro, gracias por ser un apoyo durante esta etapa.
- Mis abuelas** Margarita Santos (q.e.p.d.), Francisca Raymundo (q.e.d.p), por sus sabios consejos y enseñanzas que formarán parte siempre de nuestra familia
- Mi abuelo** Oswaldo Mazariegos, gracias por darme el ejemplo del compromiso de vivir asumiendo los retos.
- Mis tíos** Abdón López, Manolo Mazariegos, Amparo Mazariegos, Mirza Mazariegos, Guadalupe Mazariegos, Ingrid Mazariegos, por creer en mí y motivarme a seguir adelante.
- Mis primos** Rolando López, Iris López, Nineth López, Bareci Mazariegos, Juan Pablo Mazariegos, Fabiola Mazariegos, Byron Mazariegos, Birivaldo Mazariegos, Jessica Mazariegos y Raúl Mazariegos, por el cariño sincero y por todas las experiencias que hemos compartido.
- .

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una institución prestigiosa y reconocida a nivel nacional e internacional, la cual ha permitido mi desarrollo como profesional capacitado para competir en el mercado laboral
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Lugar en el cual he tenido la oportunidad de capacitarme como ingeniero ecánico, dotándome cognoscitivamente y procedimentalmente para desempeñar el trabajo con éxito. Siempre estará en mis recuerdos más apreciados.
<b>Central de Empaques, S. A.</b>	Por el apoyo brindado para llevar a cabo este trabajo de graduación y cederme el espacio para poner en práctica los conocimientos adquiridos
<b>Ing. Francisco Castellanos</b>	Gracias por el apoyo incondicional, por compartir sus conocimientos y poder aplicarlos para realizar este proyecto.

**Ing. Alejandra Rodas**

Por todo el apoyo brindado para enriquecer este proyecto.

**Magister Carlos Morales**

Gracias por tu apoyo en todos momentos.

**Ing. Edwin Sarceño**

Por brindarme su apoyo y orientación en este trabajo de graduación.

**Mis amigos**

Por los momentos compartidos, el apoyo, la alegría de aprender y el deseo de alcanzar el éxito.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA .....	1
1.1. Nombre de la empresa .....	1
1.2. Tipo.....	1
1.3. Ubicación.....	1
1.4. Historia .....	2
1.5. Descripción .....	3
1.6. Visión.....	5
1.7. La política de calidad.....	6
2. SITUACIÓN ACTUAL.....	9
2.1. Análisis de la situación actual de generación de aire comprimido .....	9
2.1.1. Diagrama de Ishikawa .....	9
2.1.2. Medición del consumo energético actual .....	11
2.1.3. Medición del caudal generado actual .....	12
2.1.4. Evaluación del estado actual de los equipos .....	13
2.1.5. Cálculo de costos por servicios .....	14

	2.1.5.1.	Costos por mantenimientos preventivos .....	15
	2.1.5.2.	Costos por mantenimientos correctivos .....	16
	2.1.6.	Analizar la calidad de aire generada actualmente ...	16
	2.1.7.	Realizar análisis de impacto ambiental para el nuevo diseño .....	19
2.2.		Diseño de la central de aire comprimido .....	19
	2.2.1.	Cálculo de la demanda de aire de las plantas y departamento de servicio .....	22
	2.2.1.1.	Instalación de equipos de medición de caudal .....	23
	2.2.1.2.	Instalación de equipos de medición de energía .....	28
	2.2.2.	Cálculo de compresores para el sistema.....	29
	2.2.3.	Cálculo de secadores para el sistema.....	32
	2.2.4.	Cálculo de los depósitos de almacenamiento para el sistema .....	36
	2.2.5.	Cálculo del sistema de filtración .....	38
	2.2.6.	Análisis de equipos para el tratamiento de condensados .....	41
	2.2.7.	Diagramas de instalación de equipos.....	42
	2.2.8.	Dimensionar la tubería de la central de aire comprimido.....	43
	2.2.8.1.	Análisis con tubería galvanizada .....	45
	2.2.8.2.	Análisis con tubería de aluminio.....	47
	2.2.9.	Diseño de la ventilación de la central de aire comprimido.....	50
	2.2.10.	Cálculo de la acometida eléctrica.....	51

2.2.11.	Diseño de la iluminación de la central de aire comprimido .....	52
2.2.12.	Normas internacionales para el diseño de una central de aire comprimido.....	53
3.	PROPUESTA DE MEJORA .....	55
3.1.	Introducción .....	55
3.2.	Cálculo de consumo de kw hora de la planta de empaque flexible .....	55
3.3.	Realizar un análisis sobre el costo actual de iluminación en la planta de empaque flexible .....	56
3.4.	Proponer un plan de ahorro energético enfocado a Producción más Limpia .....	59
3.5.	Analizar y proponer el cambio de iluminación .....	59
3.5.1.	Analizar y proponer tecnología solar .....	60
3.5.2.	Analizar y proponer tecnología LED .....	64
3.6.	Presentar un análisis de recuperación de inversión sobre las propuestas mencionadas .....	68
4.	SEGUIMIENTO DE LA PROPUESTA .....	73
4.1.	Capacitación del personal encargado del traslado e instalación del equipo nuevo .....	73
4.1.1.	Elaboración de documentos para comunicar la información .....	77
4.2.	Capacitación sobre el plan de mantenimientos preventivos y predictivos al personal de mantenimiento.....	79
4.2.1.	Elaboración de documentos para comunicar la información .....	80
4.3.	Evaluaciones las capacitaciones .....	81

CONCLUSIONES.....83  
RECOMENDACIONES.....85  
BIBLIOGRAFÍA.....87

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Ubicación de la empresa.....	2
2.	Industria de alimentos .....	4
3.	Industria de restaurantes.....	4
4.	Industria de bebidas .....	5
5.	Diagrama de Ishikawa .....	10
6.	Grados de filtración .....	17
7.	Sistema de tres compresores.....	20
8.	Sistema de dos compresores .....	21
9.	Sistema de tres compresores.....	22
10.	Medidor de caudal para aire comprimido .....	24
11.	Partes del medidor de caudal para aire comprimido .....	26
12.	Medidor de aire comprimido CDI 5400.....	28
13.	Controlador de aire.....	29
14.	Compresor de tornillo marca KAESER.....	30
15.	Secador .....	35
16.	Deposito .....	37
17.	Filtro .....	40
18.	Válvula drenadora .....	41
19.	Ubicación del equipo .....	42
20.	Diagrama de equipos .....	43
21.	Tubería galvanizada.....	46
22.	Tubería de aluminio.....	48
23.	Lámpara tipo LED .....	53

24.	Gráfico de consumo mensual <i>versus</i> costo mensual .....	57
25.	Gráfico comparativo de consumo energético .....	58
26.	Instalación fotovoltaica aislada de la red .....	62
27.	Instalación conectada a la red .....	64
28.	Usos de lámparas tipo led en la industria .....	67
29.	Tubo LED.....	68
30.	Formato de asistencia 1 .....	78
31.	Formato de asistencia 2.....	81
32.	Evaluación del impacto de la capacitación.....	82

## TABLAS

I.	Potencia instalada.....	12
II.	Caudales actuales .....	13
III.	Mantenimiento menor a .....	15
IV.	Mantenimiento menor b .....	16
V.	Compresores de la planta de producción.....	18
VI.	Total de demanda de aire con déficit .....	23
VII.	Indicadores de consumo .....	27
VIII.	Capacidad total para generar CFM dentro de la central de aire comprimido .....	32
IX.	Temperatura y presión de vapor de saturación.....	33
X.	Factores de perdida por fricción en accesorios.....	44
XI.	Valor de accesorios en codos equivalentes .....	45
XII.	Dimensionamiento de tubería respecto al flujo y distancia de aire comprimido .....	49
XIII.	Calculo de kw compresores .....	51
XIV.	Consumo de energía eléctrica .....	56
XV.	Tabla comparativa de reducción de costos en energía.....	59

XVI.	Tabla de altura de suspensión de lámparas.....	60
XVII.	Análisis Costo-Beneficio cualitativo.....	69
XVIII.	Análisis Costo-Beneficio cuantitativo.....	70
XIX.	Tasa Interna de Retorno-Valor Anual Neto .....	70
XX.	Plan de capacitaciones .....	76
XXI.	Plan de capacitaciones mantenimiento .....	79



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Dm</b>	Decímetro
<b>° C</b>	Grados Celcius
<b>° F</b>	Grados Fahrenheit
<b>g</b>	Gramo
<b>kwh</b>	Kilo watts hora
<b>kw</b>	Kilo watts
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cubico
<b>µm</b>	Micrómetro
<b>mg</b>	Miligramo
<b>mm</b>	Milímetro
<b>ppm</b>	Partículas por millón
<b>%</b>	Porcentaje



## GLOSARIO

<b>Bar</b>	Se denomina bar a una unidad de presión equivalente a un millón de barias, aproximadamente igual a una atmosfera (1 atm).
<b>Caudal</b>	Cantidad de líquido que circula, los caudales se expresan en volúmenes por unidad de tiempo, generalmente en metros cúbicos por segundo y son variables en el tiempo y el espacio.
<b>CEMSA</b>	Central de Empaques, S. A.
<b>CFM</b>	Pies cúbicos por minuto.
<b>Condensado</b>	Destilado, que es enfriado de su vapor y convertido al estado líquido por medio de un condensador.
<b>EEGSA</b>	Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A.
<b>HP</b>	Caballo de fuerza.
<b>PSI</b>	Libras por pulgada cuadrada.
<b>Volumen</b>	Dimensión de un cuerpo o espacio ocupado por un cuerpo; esta dado en $\text{mm}^3$ , $\text{cm}^3$ y $\text{m}^3$ .



## RESUMEN

La empresa que se dedica al desarrollo, fabricación y comercialización de empaques para productos alimenticios. La adquisición de nuevos equipos como la calidad de aire utilizado en los diversos procesos requiere el diseño de un sistema que cumpla con normas y estandarizaciones internacionales que permitan comercializar en el mercado local como internacional.

Se realiza una propuesta con el objetivo de diseñar un sistema eficiente para generar aire comprimido mediante una reducción del consumo energético, cuantificar el costo actual por paros no programados, mantenimientos correctivos y deficiencias en los procesos.

Dentro de la propuesta, se puede instalar un control maestro electrónico por medio del cual permita analizar la demanda de aire y que controle el arranque y paro programado de los compresores, logrando también el aumento del rendimiento de los equipos. Se pueden instalar equipos que permitan cumplir con la calidad de aire proponiendo la instalación de tubería de alto rendimiento logrando un bajo coeficiente de fricción.

Se hace una propuesta para la capacitación del personal de la planta de producción, para el montaje del equipo, plan de mantenimiento preventivo, predictivo. Así como la metodología para el seguimiento de la propuesta.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseño de una central de generación de aire comprimido para la empresa Central de Empaques, S. A.

### **Específicos**

1. Evaluar la situación actual de los equipos en el área de producción y compresores, para identificar las posibles soluciones que lleven a la eficiencia óptima del sistema.
2. Determinar el consumo actual de energía eléctrica de la planta de producción, para presentar un plan de ahorro energético, proponiendo iluminación natural y tecnología energética eficiente.
3. Evaluar la propuesta de compra de equipo con altos niveles de eficiencia, entregando aire de alta calidad y cumpliendo con estándares ISO.
4. Identificar los riesgos ambientales que pueden generar la propuesta del diseño de una central de aire comprimido.
5. Proveer de un plan de capacitación para el personal operativo, técnico del área de producción, relacionado al mantenimiento del equipo, proceso de producción.



## INTRODUCCIÓN

Actualmente la empresa cuenta con tres plantas de producción, de las cuales dos de ellas comparten un central de aire comprimido y la última planta contiene su propia central de aire comprimido.

Siendo una empresa que produce empaques para productos alimenticios, el cumplimiento de estandarizaciones internacionales y la implementación de aplicaciones continuas de estrategias ambientales para producir más limpio, realizando un análisis de impacto ambiental, la propuesta es diseñar una central de generación de aire para las tres plantas de producción mediante la evaluación de la capacidad de cada equipo actual que la empresa posee, proponiendo la compra de equipos nuevos que reemplacen a los antiguos y que no cumplan con los estándares y calidad de aire.

El sistema será diseñado con tecnología y materiales que garanticen la eficiencia y calidad de aire suministrado a las plantas, el cual es utilizado para la variedad de procesos. Considerando el alto consumo energético que los equipos de generación de aire necesitan para operar, se diseñará el sistema buscando la reducción de este consumible, logrando ahorro en costos de operación, proponiendo un plan de mantenimientos preventivos y predictivos. Se propondrá un plan de ahorro energético enfocado a la iluminación de la planta.



# **1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

## **1.1. Nombre de la empresa**

Central de Empaques, S. A. (CEMSA).

## **1.2. Tipo**

Es una empresa que se dedica al desarrollo, fabricación y comercialización de empaques para productos alimenticios.

## **1.3. Ubicación**

Se encuentra ubicada en la diagonal 19 avenida Petapa 7-35 zona 21, ciudad de Guatemala.

Figura 1. **Ubicación de la empresa**



Fuente: CEMSA.

#### **1.4. Historia**

Central de Empaques, S. A. (CEMSA) inicia operaciones en 1981 en la ciudad de Guatemala fabricando empaques y productos impresos en papel y cartón. En 1985 se incorpora la línea de producción de tapa corona metálica, y para 1991 se inaugura la planta de empaque flexible. Como complemento a los productos en cartón, en el 2003, se inicia con la fabricación de vasos de polipapel.

Esta amplitud en la oferta de productos se ha realizado con la finalidad de suministrar empaques de alta calidad a las industrias de alimentos, bebidas y

restaurantes, atendiendo a la necesidad del mercado de contar con un socio confiable de este importante insumo.

Actualmente, Central de Empaques, S. A. es una empresa sólida con más de 30 años en la industria.

La empresa es conformada por 288 empleados que basados en una cultura de calidad, respaldada con la certificación ISO 9001, se comprometen día con día por ofrecer empaques de alto desempeño a todas aquellas empresas industriales que requieren de alta tecnología en sus procesos.

Cuenta con toda la infraestructura para el diseño digital de artes, elaboración de pruebas de color y muestras.

Atiende la región de Centro América, el Caribe, así como México, Suramérica y Estados Unidos. Cuenta con oficinas de representación y distribución en El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, República Dominicana, México y Perú.

### **1.5. Descripción**

Dentro los diferentes productos que brinda la empresa, esta se encuentra dividida en tres segmentos:

- Industria de alimentos: en esta se encuentra el sector de cereales, galletas, panadería, pastelería, alimentos en polvo, lácteos, helado.



- Industria de bebidas: se encuentra el sector de bebidas carbonatadas, agua embotellada, bebidas no carbonatadas.

Figura 4. **Industria de bebidas**



Fuente: CEMSA.

## 1.6. **Visión**

La visión se refiere a lo que la empresa quiere crear, la imagen futura de la organización. Es creada por la persona encargada de dirigir la empresa, y quien tiene que valorar e incluir en su análisis muchas de las aspiraciones de los agentes que componen la organización, tanto internos como externos.

Una vez que se tiene definida la visión de la empresa, todas las acciones se fijan en este punto y las decisiones y dudas se aclaran con mayor facilidad.

Todo miembro que conozca bien la visión de la empresa, puede tomar decisiones acorde con esta.

La importancia de la visión radica en que es una fuente de inspiración para el negocio, representa la esencia que guía la iniciativa, de él se extraen fuerzas en los momentos difíciles y ayuda a trabajar por un motivo y en la misma dirección a todos los que se comprometen en el negocio.

Por lo tanto la visión de la empresa es: “Ser la compañía de suministro de empaque líder en la confiabilidad y satisfacción de los clientes”.

### **1.7. La política de calidad**

La política de la calidad es el documento base para la implementación de un sistema de gestión de la calidad, marcará las directrices generales para la planificación del sistema y orientará a toda la empresa hacia la satisfacción del cliente.

Los factores que deben tenerse en cuenta para la redacción de la política de calidad son:

- Cliente: gestionar la calidad es gestionar la satisfacción del cliente, en la política podrían incluirse directrices de comportamiento que incidan directamente en la satisfacción del cliente, por ejemplo la reducción de los plazos de entrega o mejorar la atención personal del cliente.
- Mercado: es posible tener en cuenta el comportamiento y/o los eslóganes de empresas competidoras.

- Empresa: la política debe alinearse con la realidad de la propia organización, no estableciendo directrices ajenas a la misma o imposibles de cumplir. También debe tenerse en cuenta que la política debe ser entendida por todo el personal de la organización, por lo tanto, el vocabulario y las expresiones usadas deben ser los adecuados al nivel de los empleados.

Por lo tanto la política de calidad de la empresa es: “Desarrollar relaciones de confianza mediante la garantía del suministro, entrega a tiempo de sus empaques, la calidad certificada de sus procesos, la búsqueda continua de oportunidades para mejorar el desempeño de los mismos”.



## **2. SITUACIÓN ACTUAL**

### **2.1. Análisis de la situación actual de generación de aire comprimido**

La empresa cuenta con tres plantas de producción, de las cuales dos de ellas comparten un central de aire comprimido y la última planta contiene su propia central de aire comprimido.

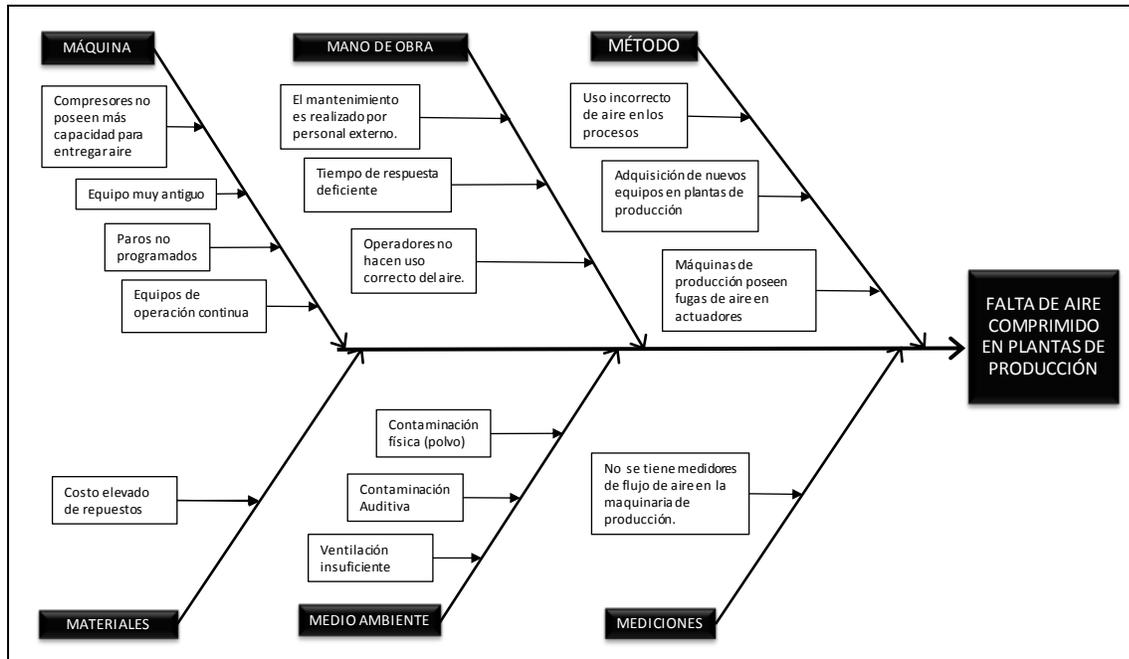
Siendo una empresa que produce empaques para productos alimenticios, debe de cumplir con estandarizaciones internacionales y la implementación de aplicaciones continuas de estrategias ambientales para producir más limpio, realizando un análisis de impacto ambiental, la propuesta es diseñar una central de generación de aire para las tres plantas de producción mediante la evaluación de la capacidad de cada equipo actual que la empresa posee, proponiendo la compra de equipos nuevos que reemplacen a los antiguos y que no cumplan con los estándares y calidad de aire.

#### **2.1.1. Diagrama de Ishikawa**

Existen varias causas las cuales generan un efecto en la producción según sea el aspecto analizar, como lo es el medio ambiente, mano de obra, maquinaria, método de trabajo, materias utilizadas en la producción.

A continuación se describen los efectos que se producen al no contar con una central de aire comprimido

Figura 5. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 5. Las causas asignables a la falta de aire comprimido en la planta de producción se da porque a los compresores actuales no poseen suficiente capacidad de entregar aire, eso se refleja en que existan fugas de aire, un costo elevado de los repuestos, dado que las máquinas sufren mucho desgaste, el operario no hace uso correcto del aire, todas estas acciones, hacen que se deba de contar con una central de aire comprimido, así se reducirán los tiempos en mantenimiento, tiempos de producción, no existirá tanto desperdicio de materia prima. Por ende los costos de operación pueden disminuir.

### **2.1.2. Medición del consumo energético actual**

La empresa cuenta con una serie de compresores para la planta de empaque flexible, el cual ofrece productos de empaque plástico como bolsas, *pouches*, *stand-up pouches*.

En la planta de tapa corona se producen los tipos *pry-off* y *twist-off* con impresión *offset*, el proceso se completa con el troquelado e inyección del sello.

En la planta litográfica, se producen cajillas, etiquetas de papel, vasos de poli papel, impresos *offset*.

El consumo promedio energético de los compresores de la empresa en estas áreas es de 186,42 kW.

Para lo cual se hace una descripción de cada área. (Ver tabla I).

Tabla I. **Potencia instalada**

<b>PLANTA PEF</b>	<b>HP</b>	<b>KW</b>
Compresor LS-16-60H/A	60	44,74
Compresor 12-60 AC	60	44,74
	<b>TOTAL KW</b>	<b>89,48</b>
<b>PLANTA LITO Y TAPA</b>	<b>HP</b>	<b>KW</b>
Compresor LS-20-100 SH	100	74,57
Compresor 16B - 75H	75	55,93
Compresor 16 BS - 75L	75	55,93
	<b>TOTAL KW</b>	<b>186,42</b>
TOTAL KW COMPRESORES		275,91
TOTAL KW HORA		275,91
TOTAL KW DÍA		6 621,84
TOTAL KW SEMANA		46 352,88
<b>TOTAL KW AÑO</b>		<b>2 410 349,76</b>

Fuente: Cemsa.

### 2.1.3. **Medición del caudal generado actual**

Para la medición del caudal generado actualmente, los datos fueron proporcionados por parte del Departamento de Mantenimiento. Los cuales son los siguientes. (Ver tabla II).

Tabla II. **Caudales actuales**

<b>PLANTA PEF</b>	<b>CFM MÍN</b>	<b>CFM MÁX.</b>	<b>CFM PROMEDIO</b>	<b>CFM TEÓRICO</b>
Compresor LS-16-60H/A	220	267	243.5	258
Compresor 12-60 AC	220	267	243.5	258
		<b>TOTAL PEF</b>	<b>243,5</b>	<b>516</b>
<b>PLANTA LITO Y TAPA</b>				
<b>PLANTA LITO Y TAPA</b>	<b>CFM MÍN</b>	<b>CFM MÁX.</b>	<b>CFM PROMEDIO</b>	<b>CFM TEÓRICO</b>
Compresor LS-20-100 SH	369	490	429.5	450
Compresor 16B - 75H	276	376	326	326
Compresor 16 BS - 75L	276	376	326	370
		<b>TOTAL</b>	<b>108,5</b>	<b>1 146</b>
			<b>TOTAL CFM EN CEMSA</b>	<b>1 325</b>
			<b>CFM PROMEDIO</b>	<b>CFM TEÓRICO</b>
PIE CÚBICOS/HORA	79 500,00	99 720,00		
PIE CÚBICOS/DÍA	1 908 000,00	2 393 280,00		
PIE CÚBICO/SEMANA	13 356 000,00	16 752 960,00		
<b>PIE CÚBICO/AÑO</b>	<b>694 512 000,00</b>	<b>871 153 920,00</b>		

Fuente: CEMSA.

#### 2.1.4. **Evaluación del estado actual de los equipos**

Los equipos con los que cuenta la empresa, han tenido diferentes tipos de falla, según el Departamento de Mantenimiento, se han presentado las siguientes circunstancias:

- Por calor excesivo: el calor excesivo provoca degradación en el aceite, así como daños en empaques y componentes internos del compresor.
- Sobrecalentamiento: se produce cuando la temperatura del gas de succión al compresor es muy elevada.
- Bajo voltaje: al trabajar el compresor con bajo voltaje se traduce en un aumento de corriente eléctrica (amperaje) provocando calentamiento en los devanados y daño del aislamiento.
- Obstrucciones en el evaporador y falta de ventilación: bajo estas condiciones el sistema tendrá muy alta presión en la cabeza del compresor y/o baja presión de succión, haciéndose excesiva la temperatura de descarga del compresor.

#### **2.1.5. Cálculo de costos por servicios**

El costo de mantenimiento de los compresores consiste en realizar un servicio menor, el servicio se realiza por cada 2 000 horas de trabajo, el cual incluye cambio de filtro de aire, filtro de aceite y si es necesario se cambia algún componente que se detecte con fallo o con posible falla. El tiempo aproximado del servicio menor es de 2 horas, dicho tiempo no afecta al departamento de producción ya que se realiza en un horario en que la producción no se vea afectada, pero el costo es mayor, ya que se realiza en fines de semana, elevando el rubro de mantenimiento en estos equipos.

Para el servicio mayor se realiza por cada 8 000 horas de trabajo del compresor, incluye cambio de filtros separadores de aceite, filtro de aire, filtro de aceite, aceite (dependiendo del equipo de 10 a 12 galones), kits de válvulas, desengrasantes y otros insumos.

### 2.1.5.1. Costos por mantenimientos preventivos

La tubería instalada en la planta se encuentra en óptimas condiciones, la cual está identificada, en este caso por ser aire comprimido debe ser color azul. Debido a la antigüedad de la misma, se realizan dos revisiones al año para corregir fugas y cambio de accesorios.

Los costos actuales por mantenimiento son los siguientes:

Costo por servicio menor:

El costo anual por servicio menor es  $Q\ 1\ 800,00/\text{servicio} * 2\ \text{servicios/año}$   
 $= Q\ 3\ 600,00/\text{año}.$

Dicho costo se integra por:

Tabla III. **Mantenimiento menor a**

No.	Concepto	Quetzales
1	Mano de obra	950,00
2	Materiales	130,00
3	Repuestos	720,00
		1 800,00

Fuente: elaboración propia.

Costo por servicio mayor:

El costo anual por servicio mayor es  $Q\ 6\ 000,00/\text{servicio} * 2\ \text{servicios/año}$   
 $= Q\ 12\ 000,00/\text{año}.$

Tabla IV. **Mantenimiento menor b**

<b>No.</b>	<b>Concepto</b>	<b>Quetzales</b>
1	Mano de obra	950,00
2	Materiales	130,00
3	Repuestos	4 920,00
		6 000,00

Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.5.2. Costos por mantenimientos correctivos**

El costo por mantenimiento correctivo la empresa lo estima en un promedio de Q 4 000,00, debido a que este variara según las falla de cada uno de los equipos.

#### **2.1.6. Analizar la calidad de aire generada actualmente**

Para el análisis de la calidad del aire que se genera para las máquinas. Se utiliza el principio de la Norma ISO 8573-1 (2010), la cual determina la calidad del aire comprimido.

Figura 6. Grados de filtración

Partículas / polvo				Agua	
Clase	No. máx. de partículas por m <sup>3</sup> (35.31 cf) Tamaño de partículas en µm *			Clase	Punto de rocío de presión
	0,1 ≤ d ≤ 0,5	0,5 ≤ d ≤ 1,0	1,0 ≤ d ≤ 5,0		
0	Por ejemplo, como aire estéril y para salas blancas; consulte a KAESER			0	Por ejemplo, como aire estéril y para salas blancas; consulte a KAESER
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	1	≤ - 70 °C(-94 °F)
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	2	≤ - 40 °C(-40 °F)
3	no definido	≤ 90.000	≤ 1.000	3	≤ - 20 °C(-4 °F)
4	no definido	no definido	≤ 10.000	4	≤ + 3 °C(+38 °F)
5	no definido	no definido	≤ 100.000	5	≤ + 7 °C(+45 °F)
				6	≤ + 10 °C(+50 °F)
Clase	Concentración de partículas Cp en mg/m <sup>3</sup> (35.31 cf)			Clase	Remanente de agua líquida C <sub>w</sub> en g/m <sup>3</sup> (g/35.31cf) *
6	0 < C <sub>p</sub> ≤ 5			7	C <sub>w</sub> ≤ 0,5
7	5 < C <sub>p</sub> ≤ 10			8	0,5 < C <sub>w</sub> ≤ 5
X	C <sub>p</sub> > 10			9	5 < C <sub>w</sub> ≤ 10
				X	C <sub>w</sub> > 10

Aceite	
Clase	Remanente de aceite total (líquido, aerosol + gas) [mg/m <sup>3</sup> (mg/35.31cf)]*
0	Por ejemplo, como aire estéril y para salas blancas; consulte a KAESER
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	> 5,0

Fuente: <http://mx.kaeser.com/>. Consulta: abril de 2014.

Debido a las certificaciones con las que cuenta la empresa, se buscará la implementación de equipos refrigerativos y filtros que permitan cumplir con la Norma ISO 8573-1: 2010, para industrias que se dedican a la producción de alimentos, recomiendan una clasificación de 1, 4, 1, (1: para partículas y polvo; 4: para el punto de rocío de presión y 1: para el contenido total de aceite).

En relación con los equipos necesarios para conseguir esta calidad de aire, se debe destacar que, independientemente del tipo de tecnología utilizada para la generación de aire comprimido (compresores lubricados o de compresión exenta de aceite) es imprescindible el empleo de un tratamiento

adecuado, ya que la simple contaminación atmosférica eleva los valores de contaminantes por encima de los parámetros permitidos.

Una filtración adecuada y el empleo de secadores (con secadores frigoríficos sería suficiente), garantizará una calidad 1-4-1 según recomienda la norma.

Tabla V. **Compresores de la planta de producción**

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Entrega de Aire</b>	<b>Potencia Nominal HP</b>	<b>Presión de Control</b>
SULLAIR	LS20-100H	447 CFM	100	125-135
SULLAIR	16BS-75L	345 CFM	75	100-110
SULLAIR	137-75H	330 CFM	75	125
SULLAIR	12-60	245 CFM	60	115-125
SULLAIR	LS16-60H	265 CFM	60	125-135

Fuente: CEMSA.

### **2.1.7. Realizar análisis de impacto ambiental para el nuevo diseño**

La importancia del impacto ambiental que causa la empresa en estudio, se prevé que esto no sucederá, puesto que se usan equipos nuevos y certificados, el consumo de agua como de energía eléctrica se usa solamente la necesaria, sin llegar al uso excesivo de los recursos.

La zona donde está instalada no existe afectación, puesto que no existe vegetación en abundancia solo hay unos pequeños arbustos, ni habitan animales en peligro de extinción.

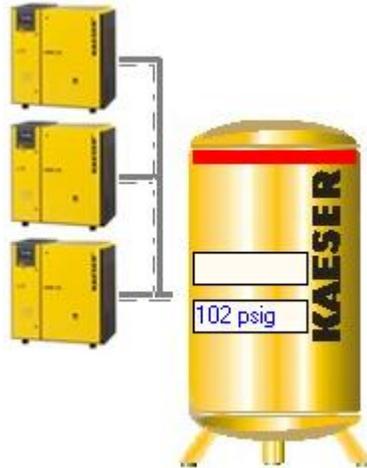
### **2.2. Diseño de la central de aire comprimido**

Los factores que intervendrán en el diseño correcto del sistema son: caudal requerido, temperatura, presión, diámetro y tipo de tubería. Esta decisión se tomará en base a la calidad de aire comprimido que se necesita.

Para la central de aire comprimido existen diferentes sistemas los cuales se describen a continuación:

- Sistema No. 1: se puede utilizar un compresor de tornillo con una potencia nominal de 125 hp. Conjuntamente con un compresor con potencia nominal de 75 hp. Este sistema debe utilizar un control maestro de aire, es funciona adaptando el caudal y el consumo energético de los compresores de manera óptima y constante de acuerdo a la demanda real de aire comprimido. Además da como beneficio que los equipos instalados puedan operar con absoluta rentabilidad energética. Este sistema proporcionará 1 260 CFM

Figura 7. **Sistema de tres compresores**



Fuente: <http://mx.kaeser.com/>. Consulta: abril de 2014.

- Sistema No. 2: este sistema utiliza un compresor de tornillo de 125 hp. Un compresor de 150 hp. Este sistema debe utilizar un control maestro de aire, funciona adaptando el caudal y el consumo energético de los compresores de manera óptima y constante de acuerdo a la demanda real de aire comprimido. Además da como beneficio que los equipos instalados puedan operar con absoluta rentabilidad energética. Este sistema proporcionará 1 292 CFM

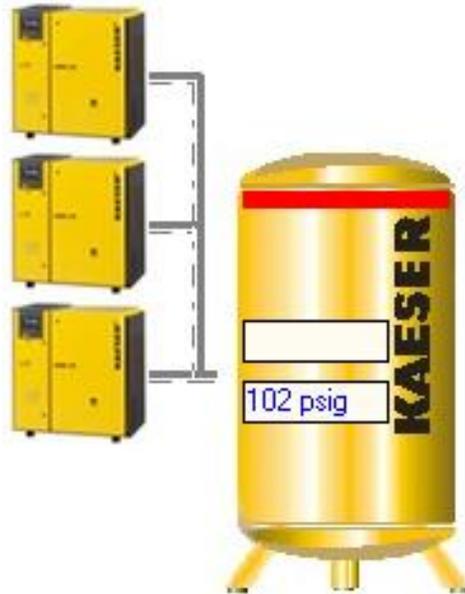
Figura 8. **Sistema de dos compresores**



Fuente: <http://mx.kaeser.com/>. Consulta: abril de 2014.

- Sistema No. 3: este sistema utiliza tres compresores de 100 hp cada uno. Este sistema debe utilizar un control maestro de aire, es funciona adaptando el caudal y el consumo energético de los compresores de manera óptima y constante de acuerdo a la demanda real de aire comprimido. Además da como beneficio que los equipos instalados puedan operar con absoluta rentabilidad energética. Este sistema proporcionará 1 387 CFM

Figura 9. **Sistema de tres compresores**



Fuente: <http://mx.kaeser.com/>. Consulta: abril de 2014.

### **2.2.1. Cálculo de la demanda de aire de las plantas y departamento de servicio**

Para determinar la demanda de aire de las plantas, por parte de la gerencia de producción, fueron proporcionados los valores para cada departamento de servicios. Con los datos recopilados se procederá a realizar el análisis para el diseño de la central de aire comprimido de la empresa en estudio.

Tabla VI. **Total de demanda de aire con déficit**

CFM	Absoluto	Promedio
Mínimo	220,17	665,67
Máximo	1 540,28	1 049,21
Promedio	940,11	940,11

Fuente: elaboración propia.

### **2.2.1.1. Instalación de equipos de medición de caudal**

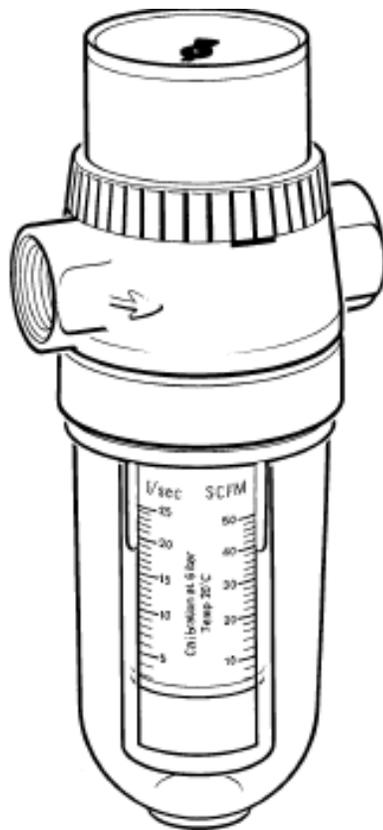
La medición del flujo en el funcionamiento de los compresores es un factor crítico para el equilibrio adecuado de los mismos, para notar los posibles problemas de sobrecarga antes de que se presenten y para monitorear la eficiencia y las prestaciones de los compresores.

Los flujómetros de presión diferencial no tienen que ser el sistema de medición del flujo de elección a causa de la caída de presión que causan, mientras que los flujómetros de turbina y otros instrumentos mecánicos no funcionan bien en condiciones pulsantes. También las vibraciones y los esfuerzos mecánicos pueden representar un problema a causa de los tubos de insertados en la tubería a través de racores soldados. Los flujómetros ultrasónicos representan una valiosa alternativa, ya que el flujo pulsante no es un problema y no causan ninguna caída de la presión.

El tiempo de respuesta a los cambios de flujo es un criterio importante para las prestaciones de un flujómetro en las aplicaciones con los compresores. Un tiempo de respuesta típico para un flujómetro de presión diferencial varía entre 100 y 200 ms, para reflejar aproximadamente el 63 % de una variación de flujo.

Los flujómetros pueden constituir un valor añadido, gracias a su respuesta más rápida. Es posible obtener un tiempo de respuesta de 70 ms para reflejar el 100 % de una variación del caudal, ofreciendo una posibilidad mucho mejor y rápida de reaccionar y modificar las configuraciones de las prestaciones de un compresor y evitando los posibles daños causados por las sobrecargas.

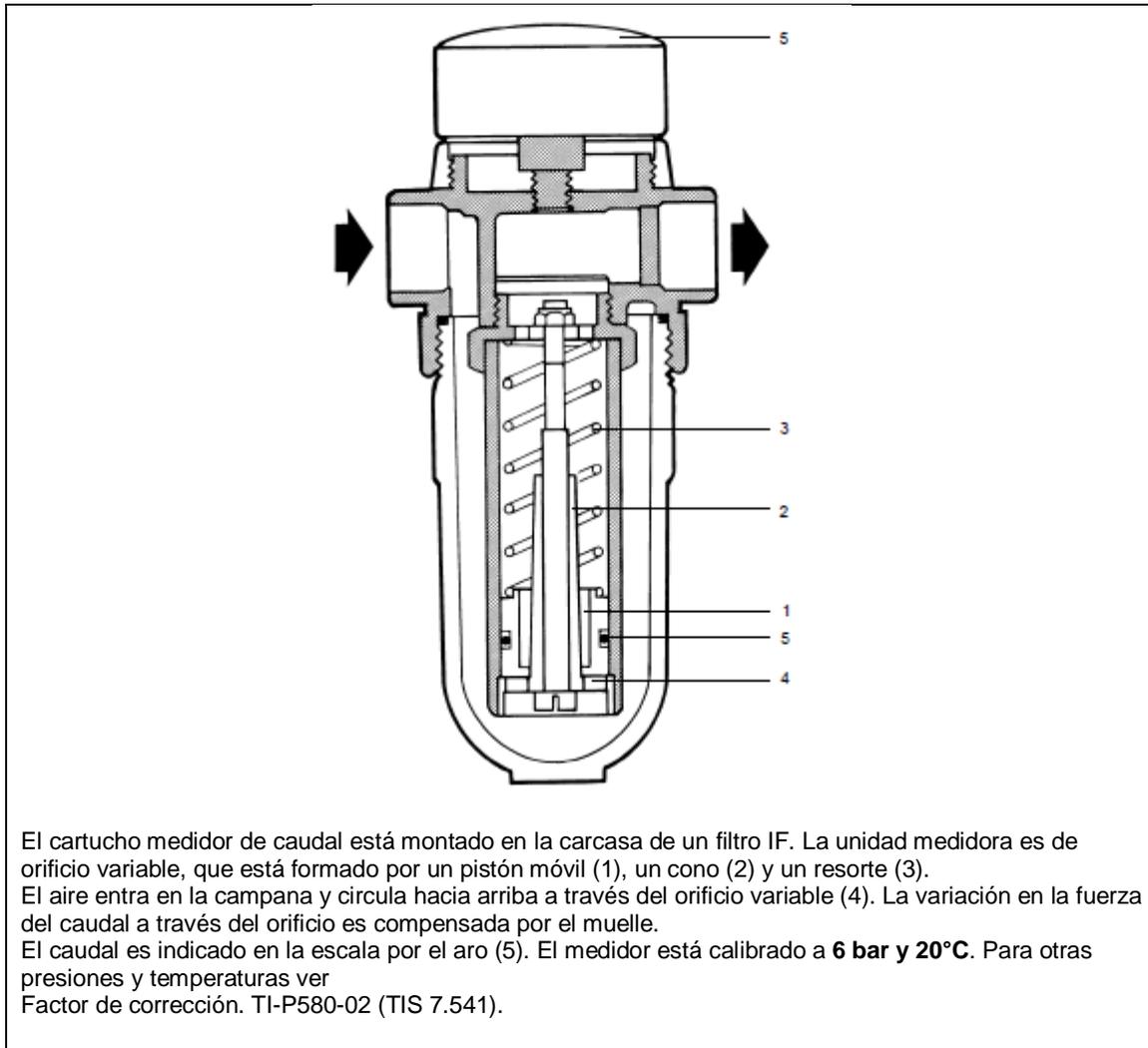
Figura 10. **Medidor de caudal para aire comprimido**



Fuente: <http://www.spiraxsarco.com/mx/>. Consulta: abril de 2014.

- Especificaciones:
  - Conexiones:- Roscadas BSP(BS21-Rp)
  - Rango caudal 3 a 25 dm<sup>3</sup>/s
  - Puede usarse con otros gases compatibles
  - Presión máxima de trabajo 10 bar r
  - Presión mínima de trabajo 1 bar r.
  - Acabado epoxi negro de alta calidad interior y exterior.
  - Campana de policarbonato BS 6005.
  - Protector de campana opcional.
  - Suministro con manómetro
  - Cartucho giratorio 360° para fácil visión.

Figura 11. Partes del medidor de caudal para aire comprimido



El cartucho medidor de caudal está montado en la carcasa de un filtro IF. La unidad medidora es de orificio variable, que está formado por un pistón móvil (1), un cono (2) y un resorte (3). El aire entra en la campana y circula hacia arriba a través del orificio variable (4). La variación en la fuerza del caudal a través del orificio es compensada por el muelle. El caudal es indicado en la escala por el aro (5). El medidor está calibrado a **6 bar y 20°C**. Para otras presiones y temperaturas ver Factor de corrección. TI-P580-02 (TIS 7.541).

Fuente: <http://www.spiraxsarco.com/mx/>. Consulta: abril de 2014.

- Medidor de aire comprimido CDI 500: el medidor de aire comprimido está diseñado para compresores y nitrógeno. Este se utiliza en medidas debajo de 15 psig.
- Disponible para:
  - Tubería de acero de 2 "a 8"
  - DN50 tubo de acero a través de DN200
  - Tubo de cobre de 2 "a 4"
  - Tamaños aluminio métricas comunes

Tabla VII. **Indicadores de consumo**

<b>N ° de modelo. S para Sch. 40 Acero C para el Tipo L Cobre M para la métrica de aluminio</b>	<b>Diámetro nominal del tubo Pulgadas y milímetros</b>	<b>Rango calibrado (Scfm)</b>
5400-20C *, 5400-20S	2,0 pulgadas	4-400
5400-25C, 5400-25S	2,5 pulgadas	5-500
5400-30C *, 5400-30S	3,0 pulgadas	12-1200
5400-40C *, 5400-40S	4,0 pulgadas	20-2000
5400-50S	5,0 pulgadas	20 hasta 2500
5400-60S	6,0 pulgadas	50-5000
5400-80S	8,0 pulgadas	100 - 6000
5400-50M	50 mm	3-350
5400-63M	63 mm	5-500
5400-76M	76 mm	7-700
5400-101M	101 mm	15-1500

Fuente: [www.cdimeters.com](http://www.cdimeters.com). Consulta: abril de 2014.

Figura 12. **Medidor de aire comprimido CDI 5400**



Fuente: [www.cdimeters.com](http://www.cdimeters.com). Consulta: abril de 2014.

### **2.2.1.2. Instalación de equipos de medición de energía**

Para la medición y control de energía, se sugiere utilizar, el controlador maestro Sigma Air Manager (SAM) se basa en un potente PC industrial y funciona con el control 3D adaptable. Este control adapta el caudal y el consumo energético de los compresores de manera óptima y constante de acuerdo a la demanda real de aire comprimido. Hasta ahora, los controladores maestros funcionaban apoyándose en un estrecho margen de presión, y su objetivo fundamental era conseguir diferencias de presión de conmutación mínimas. Este control, además, permite que los equipos operen con absoluta rentabilidad energética.

Figura 13. **Controlador de aire**



Fuente: [www.kaeser.com.sg](http://www.kaeser.com.sg). Consulta: abril de 2014.

### **2.2.2. Cálculo de compresores para el sistema**

Para la utilización de los compresores en el sistema propuesto se hace la descripción de los equipos según sus especificaciones y necesidades, para el proceso industrial de la empresa en estudio.

- Compresor SFC 132 velocidad variable, cfm: 810: los equipos de la serie SFC de Kaeser, son compresores de tornillo rotativo extraordinariamente eficientes con convertidor de frecuencia variable. Los modelos SFC cuentan con un sistema de transmisión por correas que requiere mínimo mantenimiento gracias a su dispositivo de tensionamiento automático. Los modelos más grandes de la serie SFC en adelante son equipos de acople directo con frecuencia controlada.

Cada compresor está en capacidad de operar al 100 por ciento de su factor de carga sin que por ello requiera mayor mantenimiento.

- Tubería: está conectado a una tubería de 76 mm en la salida con una capacidad de 1 766 CFM a una distancia de 50 metros.

Figura 14. **Compresor de tornillo marca KAESER**



Fuente: [www.kaeser.com.sg](http://www.kaeser.com.sg). Consulta: abril de 2014.

- Equipo: compresor DSD 125, cfm: 573: los compresores de tornillo de cuentan con una económica transmisión de acople que conecta la unidad compresora de perfil sigma directamente al motor Premium-Efficiency IE3 de excelente eficiencia. El gran tamaño y la baja velocidad operativa de

estas unidades compresoras también mejoran enormemente el desempeño del equipo

- Tubería: está conectado a una tubería de 63 mm en la salida con una capacidad de 736 CFM a una distancia de 50 metros.
- Equipo: compresor LS 20-100 SH CFM: 429: compresor de aire estacionario de una etapa serie 20 modelo LS20-100 de tipo rotativo a tornillo asimétrico, apto para servicio continuo, lubricado y enfriado por aceite a presión. Sin correas, motor de 100 HP. Con microprocesador. Sistemas de regulación *on-off* y modulante (ambos incorporados). El aire suministrado contiene un máximo de aceite de 1 ppm. Este compresor de aire estacionario posee rodamientos con vida útil extendida, diseñados para resistir b10 50.000 horas. Tubería: está conectado a una tubería de 63 mm en la salida con una capacidad de 736 CFM a una distancia de 50 metros.
- Compresor SULLAIR LS-16-60H/A, CFM 250: refrigerado por aire fabricante de compresores de tornillo clasificado para 100/110 psig de presión de aire máxima y acfm 370. 208/230/460 voltios 3 fases de 75 HP de accionamiento del compresor. Tubería: está conectado a una tubería de 63 mm en la salida con una capacidad de 736 CFM a una distancia de 50 metros.

Tabla VIII. **Capacidad total para generar CFM dentro de la central de aire comprimido**

Compresor	Presión de operación (psig)	Cfm teórico (pie <sup>3</sup> /min)
Compresor SULLAIR LS-20-100 SH	115	429
Compresor SULLAIR LS-16-60H/A	125	250
Compresor Kaeser SFC 132	110	810
Compresor Kaeser DSD 125	110	573
	TOTAL CFM	2 062

PSIG = se refiere a la presión contando desde la presión atmosférica

Fuente: CEMSA.

### 2.2.3. Cálculo de secadores para el sistema

La temperatura de punto de rocío es la medida de cuánto vapor de agua existe en un gas. El agua tiene la capacidad de existir como un líquido, un sólido o un gas bajo una amplia gama de condiciones. Para comprender el comportamiento del vapor de agua, en primer lugar resulta útil repasar el comportamiento general de los gases.

En cualquier mezcla de gases, la presión total del gas es la suma de las presiones parciales de los gases que lo componen. Esta es la ley de Dalton y se representa de la siguiente manera:

$$P \text{ total} = P_1 + P_2 + P_3 \dots$$

La cantidad de cualquier gas que compone la mezcla puede expresarse en términos de presión. Los principales componentes del aire son el nitrógeno, el oxígeno y el vapor de agua; por lo tanto, la presión atmosférica total está compuesta por las presiones parciales de estos tres gases. Si bien el nitrógeno y el oxígeno están presentes en condiciones estables, la concentración de vapor de agua es muy variable y es necesario medirla para determinar el volumen.

Tabla IX. **Temperatura y presión de vapor de saturación**

<b>Temperatura °C (°F)</b>	<b>Presión de vapor de saturación (mbar)</b>
20 (68)	23,5
0 (32)	6,1
-10 (14)	2,8
-20 (-4)	1,3
-40 (-40)	0,2

Fuente: [www.vaisala.com](http://www.vaisala.com). Consulta: abril de 2014.

- Diferencia entre punto de rocío y punto de rocío a presión: el término punto de rocío a presión se utiliza cuando se mide la temperatura del punto de rocío de los gases a presiones más elevadas que la presión atmosférica. Se refiere a la temperatura del punto de rocío de un gas bajo presión. Esto es importante porque, al cambiar la presión de un gas, se modifica la temperatura del punto de rocío del gas.
- Efecto que tiene la presión sobre el punto de rocío: si se aumenta la presión de un gas, se incrementa la temperatura de punto de rocío del gas. Por poner un ejemplo el aire con una presión atmosférica de 1013,3 mbar y una temperatura de punto de rocío de -10 °C (14 °F). Según la información de la tabla anterior, la presión parcial del vapor (ver tabla VII) de agua (indicada con el símbolo "e") es de 2,8 mbar. Si este aire se

comprime y la presión total se duplica a 2026,6 mbar entonces, según la ley de Dalton, la presión parcial del vapor de agua, e, también se duplica a un valor de 5,6 mbar. La temperatura del punto de rocío correspondiente a 5,6 mbar es aproximadamente -1 °C (30 °F), con lo cual resulta evidente que al incrementar la presión del aire también se incrementó la temperatura del punto de rocío del aire. Por el contrario, al expandir un gas comprimido a presión atmosférica se reducen las presiones parciales de todos los gases que lo componen, incluido el vapor de agua, y, por lo tanto, disminuye la temperatura del punto de rocío del gas. La relación entre la presión total y la presión parcial del vapor de agua, e, puede expresarse de la siguiente manera:

$$P_1/P_2 = e_1/e_2$$

Al convertir la temperatura del punto de rocío a la presión de vapor de saturación correspondiente, resulta fácil calcular el efecto de la presión total cambiante sobre la presión de vapor de saturación. El nuevo valor de la presión de vapor de saturación puede volver a convertirse a la temperatura correspondiente del punto de rocío. Estos cálculos se pueden hacer en forma manual, por medio de tablas, o con distintos tipos de software.

Los secadores son equipos destinados a tratar el aire o los gases comprimidos, para reducir en ellos su contenido de vapor de agua, disminuyendo el punto de rocío del aire comprimido hasta un nivel suficiente para que la humedad y el vapor de aceite queden reducidos antes de su entrada en las redes de distribución, no debiendo existir condensación de agua en los puestos de utilización.

- Secadores refrigerativos TG 301 CFM: 1 000: son modelos con control Dual que ofrecen una expansión directa, carga/descarga en el sistema de refrigeración. Su eficiencia energética se basa en el desplazamiento digital del sistema de refrigeración durante el encuentro de energía y demanda.
- Tubería: están conectados a una tubería de 76 mm en la salida con una capacidad de 1 766 CFM a una distancia de 50 metros.

Figura 15. **Secador**



Fuente: [www.kaeser.com.gt](http://www.kaeser.com.gt). Consulta: abril de 2014.

#### **2.2.4. Cálculo de los depósitos de almacenamiento para el sistema**

Para los depósitos de almacenamiento del sistema se hace la propuesta de utilizar depósitos de 5 000 litros. Los depósitos de presión desempeñan una función muy importante en la estación de aire comprimido por su volumen de almacenamiento. Compensan las puntas de consumo y con frecuencia separan el condensado del aire comprimido. Por esta razón, elegir el depósito de tamaño adecuado será muy importante para conseguir una protección fiable contra la corrosión. Los intervalos de control deberán ser de la máxima duración posible. Los depósitos de aire comprimido KAESER cumplen todos estos requisitos. También es importante que el montaje en el lugar de instalación sea sencillo, ya que el proveedor del equipo, suministra los sistemas completos de depósitos EasyFit, totalmente premontados, lo cual simplifica notablemente el trabajo de montaje. La limpieza, el mantenimiento y el control del depósito se realizan rápidamente gracias a los grandes orificios de acceso para manos y para personas. Este es otro punto que contribuye al ahorro.

Figura 16. Deposito



Fuente: [www.kaeser.com.gt](http://www.kaeser.com.gt). Consulta: abril de 2014.

Para determinar el volumen del tanque de aire comprimido se utiliza la siguiente fórmula: datos proporcionados por la empresa.

$V_b$ =volumen del tanque en  $m^3$

$t$ = tiempo de almacenamiento en minutos

$P_a$ = presión inicial del tanque (bar)

$P_b$ = presión final del tanque (bar)

$Q$ = caudal

$$V_b = \frac{Q \times t}{P_a - P_b} =$$

$$V_b = \frac{4 \frac{m^3}{\text{min}} \times 5 \text{ min}}{12 - 8 \text{ bar}} = 5 m^3$$

### 2.2.5. Cálculo del sistema de filtración

Para el sistema de filtración se sugiere utilizar dos filtros para la remoción de aceite y dos filtros para la remoción de partículas, los cuales se describen a continuación:

- Filtro KOR 1 000, CFM: 1 000
  - KOR (filtro para remoción de aceite) microfiltro 0,01 ppm remoción de partículas > 0,01 µm.
  - Contenido de aceite ££ 0,01 mg/m³ (»ppm)
  - Caída de presión 1 psi seco, 3 psi mojado; presión máxima de trabajo 250 psi (g) (KOR 1 000P en adelante: 225 psi(g))
  - Efecto filtrante constante
  - Temperatura máxima de trabajo 150 °F (KOR 1000 a 21 250: +110 °F)

- Filtro KVF 1000, CFM: 1000
  - Combinación de microfiltro-carbón activado 0,001 ppm Calidad original
  - Remoción de partículas > 0,01  $\mu\text{m}$ ,
  - Contenido de vapor de aceite  $\leq$  0,003 mg/m<sup>3</sup> efecto filtrante constante
  - Caída de presión en seco: 1 psi / caída de presión en húmedo N/A casquillo de acero inoxidable
  - Presión máxima de trabajo 250 psi(g).
  - Temperatura máxima de trabajo 150 °F (KVF 1 000 a 21 250: + 110 °F)

Figura 17. Filtro



- 1 Indicador de Presión Diferencial Tipo Regleta**  
Asegura una operación económica al cambiar de color cuando el elemento del filtro requiere ser reemplazado. Es estándar para filtros hasta 60 scfm (excepto KVA).
- 2 Elementos Codificados por Colores**  
Permite una fácil identificación. Los elementos están diseñados usando la última innovación y tecnología de fabricación.
- 3 Drenaje Interno Automático**  
Descarga eficientemente el condensado acumulado (excepto KVA y KFS250 en adelante).
- 4 Indicador de Presión Diferencial Tipo Manómetro**  
Manómetro de gran superficie, y de fácil lectura que permite que la carcasa sea montada en cualquier dirección de flujo. Es estándar en filtros de 100 y mayores (excepto KVA).
- 5 Conexiones Modulares**  
Diseño de ahorro de espacio que permite que las carcasas sean conectadas en serie sin la necesidad de tubería adicional.
- 6 Indicador de Nivel de Líquido**  
Permite el monitoreo visual de nivel de líquidos además de verificar la operación del drenaje.

Fuente: [www.kaeser.com.gt](http://www.kaeser.com.gt). Consulta: abril de 2014.

### 2.2.6. Análisis de equipos para el tratamiento de condensados

Para el tratamiento del aire condensado, se requiere de una válvula drenadora. La cual realiza una evacuación eficaz del condensado sin pérdidas de presión, conseguir una eliminación de condensados eficaz y segura sin pérdidas de aire comprimido. Debe de dar la fiabilidad del proceso que quede garantizado incluso si la formación de condensados sufre oscilaciones fuertes y el condensado contiene muchas impurezas o un alto porcentaje de aceite. Para lo cual se puede utilizar una válvula drenadora Eco Drain de la marca Kaeser.

Figura 18. **Válvula drenadora**

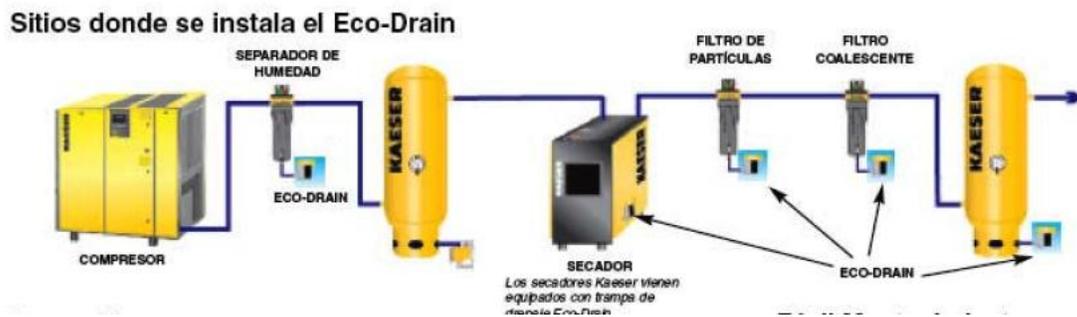


Fuente: <http://mx.kaeser.com/Images/LAEDRAIN-tcm57-6774.pdf>. Consulta abril de 2014.

## 2.2.7. Diagramas de instalación de equipos

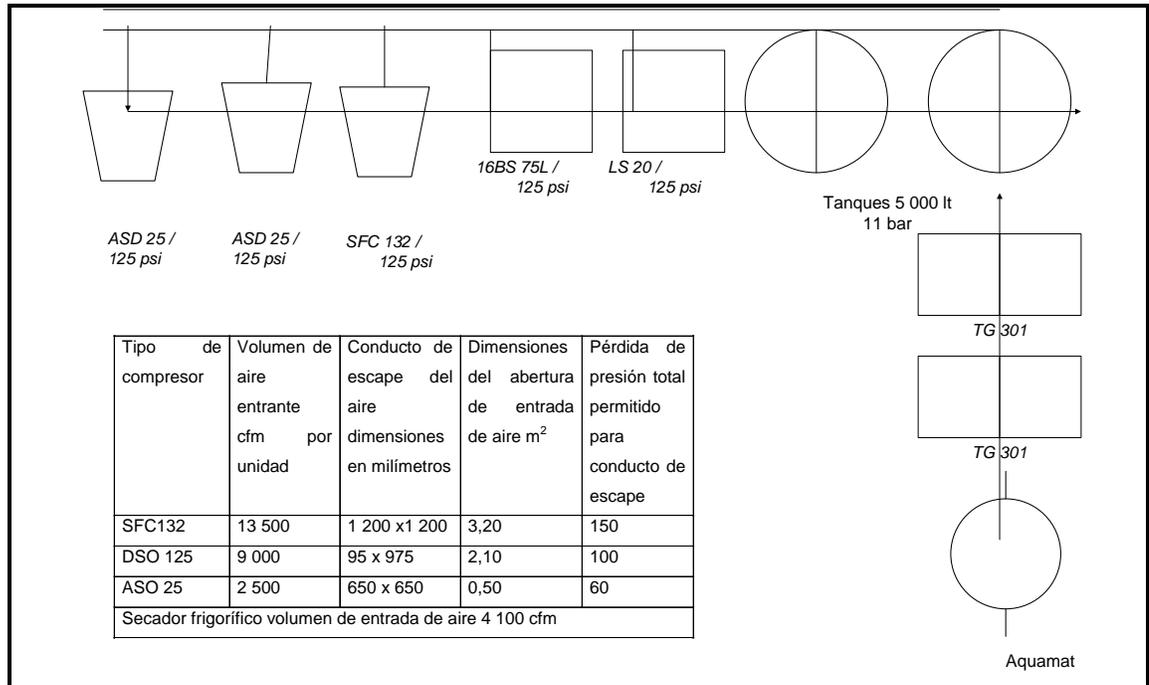
A continuación se describe en la figura 14. El diagrama de los equipos.

Figura 19. Ubicación del equipo



Fuente: <http://mx.kaeser.com/Images/LAEDRAIN-tcm57-6774.pdf>. Consulta abril de 2014.

Figura 20. Diagrama de equipos



Fuente: elaboración propia.

### 2.2.8. Dimensionar la tubería de la central de aire comprimido

Las tuberías de aire comprimido pueden tener desde algunos mm de diámetro interior hasta varios cm pudiendo ser de goma, plástico o metal, pero nunca debe emplearse el antiguo tubo de gas.

- Longitud de tubería: la resistencia al flujo de aire comprimido a través de un conducto se incrementa por la presencia de accesorios y por lo tanto, la capacidad de conducción se ve reducida. Para poder expresar dichas resistencias se ha optado hacerlo en longitudes de tubo recto. Las resistencias así expresadas son sumadas a la longitud real de la tubería

y la suma es llamada longitud equivalente de la tubería. Las resistencias que ocasionan los accesorios varían dependiendo de su diámetro.

Para determinar la longitud de la tubería debida a la existencia de accesorios se pueden utilizar dos métodos:

- Se relacionan los accesorios directamente con longitudes de tubo recto, son variables estas según sea, el diámetro de los accesorios. Para ello se utiliza la tabla VI.

Tabla X. **Factores de perdida por fricción en accesorios**

Accesorios	Tamaño nominal de la tubería ( pulgadas)						
	1/2	3/4	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½
Codo	1,55	2,06	2,62	3,45	4,02	5,17	6,16
Válvula de compuerta	0,36	0,48	0,61	0,81	0,94	1,21	1,40
Válvula de ángulo	6,65	11,4	14,6	19,1	22,4	28,7	34,3
Válvula de codo	17,3	22,9	29,1	38,3	44,7	57,4	66,5
Tees	0,62	0,82	1,05	1,38	1,61	2,07	2,47
Reducción	0,066	0,132	0,165	0,198	0,231	0,33	0,66
Cuello de cisne	0,627	0,66	0,825	1,07	1,32	1,65	
Filtro separador	0,66	0,99	1,32	1,65	1,96	2,31	3,3

Fuente: CARNICER, E. *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones*. p. 300.

- Se relacionan los accesorios con la resistencia que ocasionaría un codo de 90; hallando así un número determinado de codos equivalentes, y estos, a su vez, se convierten en una longitud recta utilizando la siguiente fórmula:

$Le = \frac{\text{No de codos equivalentes}}{25} * (25 * \text{diámetro del tubo})$

Debidos a los accesorios 12

- Para relacionar los accesorios con los codos equivalentes se utiliza la tabla VII.

Tabla XI. **Valor de accesorios en codos equivalentes**

Parte	Codos equivalentes	
	Tubo de hierro	Tubo de cobre
Válvula de ángulo radiador	2,0	3,0
Válvula de globo abierta	12,0	17,0
Válvula de compuerta abierta	0,5	0,7
Te con desviación del 100 %	1,8	1,2
Te con desviación del 50 %	4,0	4,0
Te con desviación del 33 %	9,0	11,0
Te con desviación del 25%	16,0	20,0
Codo de 90	1,0	1,0
Codo de 90 con curva grande	0,5	0,5
Codo de 45	0,7	0,7
Retorno (U) abierto	1,0	1,0
Unión de reducción	0,4	0,4

Fuente: Folleto instalaciones mecánicas. Tuberías neumáticas. p. 9.

Como una aproximación, la longitud equivalente de un circuito convencional varía de 1,5 a 2 veces la longitud real del mismo.

### 2.2.8.1. Análisis con tubería galvanizada

Este tipo de tubería se utiliza en líneas de aire comprimido, ya que es resistente a la corrosión; se producen en una amplia variedad de tamaños para presiones variables y puede ser utilizado en servicios subterráneos y sumergidos. Este puede obtenerse en varios espesores y pesos: a) fundición con bridas; b) con sus extremos roscados para introducir a rosca las bridas; c)

extremos separados para una junta mecánica; d) con los extremos ranurados o con un resalto para acoplamientos patentados.

Para la instalación de tuberías de acero y hierro galvanizado, los soportes más apropiados son:

- De tirante, que es el más común, posee tensor de ajuste para establecer la dirección de la tubería.
- De rodillo
- De anclaje

Figura 21. **Tubería galvanizada**



Fuente: <http://www.airep.com.co>. Consulta: abril de 2014.

### **2.2.8.2. Análisis con tubería de aluminio**

La utilización de tubería de aluminio en la red de aire comprimido tiene las siguientes ventajas:

- Reducción en el trabajo de instalación de la tubería de aire comprimido
- Fácil modificaciones en el diseño de tuberías
- Sistemas de aire libre de fugas
- Eficiencia en energía: reducción en la demanda de aire comprimido
- No existe corrosión en las tuberías
- Sistema de bajo costo para el usuario:
- Fácil de modificar
- Resultados en bajos tiempos muertos de producción
- Todos los componentes son reutilizables

Figura 22. **Tubería de aluminio**



Fuente: <http://www.airep.com.co>. Consulta: abril de 2014.

Tabla XII. Dimensionamiento de tubería respecto al flujo y distancia de aire comprimido

Flow rate			Length										Compressor (hp)
			164ft	328ft	492ft	984ft	1640ft	2460ft	3280ft	4265ft	5249ft	6561ft	
Nm <sup>3</sup> /h	l/min	cfm	50m	100m	150m	300m	500m	750m	1000m	1300m	1600m	2000m	
10	167	6	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	25	25	25	2 - 10
30	500	18	16,5	16,5	16,5	25	25	25	25	25	25	40	
50	833	29	16,5	25	25	25	25	25	40	40	40	40	
70	1167	41	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	10 - 40
100	1667	59	25	25	25	40	40	40	40	40	40	63	
150	2500	88	25	40	40	40	40	40	40	63	63	63	
<b>250</b>	<b>4167</b>	<b>147</b>	40	40	40	<b>40</b>	63	63	63	63	63	63	
350	5833	206	40	40	40	63	63	63	63	63	63	76	40 - 100
500	8333	294	40	40	63	63	63	63	63	76	76	76	
750	12500	441	40	63	63	63	63	76	76	76	76	100	
1000	16667	589	63	63	63	63	63	76	76	100	100	100	100 - 425
1250	20833	736	63	63	63	63	63	100	100	100	100	100	
1500	25000	883	63	63	63	76	76	100	100	100	100	100*	
1750	29167	1030	63	63	76	76	76	100	100	100	100	100*	
2000	33333	1177	63	76	76	76	100	100	100	100*	100*	100*	
2500	41667	1471	63	76	76	76	100	100*	100*	100*	100*	100*	
3000	50000	1766	76	76	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	
3500	58333	2060	76	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	> 425
4000	66667	2354	76	100	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
4500	75000	2649	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
5000	83333	2943	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
5500	91667	3237	100	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
6000	100000	3531	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
6000	100000	3531	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	

\*Pressure drop >5%

Flow rate: velocidad de flujo

Length: longitud

Pressure drop > 5 %: caída de presión arriba del 5 %

Ft: pie

m: metro

Compressor: compresor

Fuente: www.parker.com. Consulta: abril de 2014.

### **2.2.9. Diseño de la ventilación de la central de aire comprimido**

La elevada temperatura que se genera debido a que el diseño y la forma como se instalan los equipos que suministran aire comprimido a sus plantas no se adecuan correctamente a las condiciones atmosféricas de las estaciones a lo largo del año. El calor generado por la compresión se tiene que sacar del cuarto y en lo posible debe desviarse a un sistema de recuperación térmica para darle una aplicación útil. El secador de aire que se instala enseguida del compresor debe estar diseñado para soportar la alta temperatura tanto del ambiente como del aire de admisión. Es necesario tener en cuenta estos aspectos para llegar a configurar con precisión una instalación de aire realmente confiable.

Todas las salas de compresores necesitan ventilación. La ventilación mínima de la sala se puede calcular con la fórmula:

$$Q_v = 1,06 N / T \text{ para unidad sin secador integrado}$$

$$Q_v = (1,06 N + 1,3) / T \text{ para unidad con secador integrado}$$

$Q_v$  = caudal de aire necesario ( $m^3/s$ )

$N$  = potencia de entrada compresor (kW)

$T$  = aumento de temperatura en la sala de compresores. (Normalmente de 5 °C a 10 °C)

Si se canaliza el aire de entrada del compresor, la ventilación necesaria es la misma que la capacidad del ventilador del compresor.

Para determinar el caudal de ventilación necesario se realiza el siguiente cálculo, los datos fueron proporcionados por la gerencia de la planta.

Tabla XIII. **Cálculo de kw compresores**

TIPO DE MÁQUINA		CFM TEÓRICO (pie <sup>3</sup> /min)	POTENCIA	POTENCIA DEL VENTILADOR	kWmax TEÓRICO
COMPRESORES	Compresor SULLAIR LS-20-100 SH	450	100	3	76.81
	Compresor SULLAIR LS-16-60H/A	326	60	3	46.98
	Compresor Kaeser SFC 132	920	200		149.14
	Compresor Kaeser DSD 125	573	125		93.21
SECADORES	Secador Refri TG301	1000 - 38°F 1300 - 50°F	7		5.22
	Secador Refri TG301	1000 - 38°F 1300 - 50°F	7		5.22
TOTAL CARGA		2269	499		376.58

Fuente: elaboración propia.

$$Q_v = 1.06 (376.58) / 10 \text{ para unidad sin secador integrado}$$

$$Q = 39.92 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 2.2.10. Cálculo de la acometida eléctrica

Se entiende por acometida, la parte de la instalación eléctrica que se construye desde las redes públicas de distribución hasta las instalaciones del usuario y está conformada por los siguientes componentes:

Punto de alimentación:

- Conductores
- Ductos
- Tablero general de acometidas
- Interruptor general
- Armario de medidores

Las instalaciones eléctricas industriales tienen normas que están establecidas por la Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A. (EEGSA) según el tipo instalación que se desee realizar. Todas estas condiciones están normadas para dar un buen servicio y tener un consumo eficiente de energía perteneciente al tipo de instalación que se requiere.

En el caso de la empresa en estudio cuenta con un tablero de distribución principal y una transformador de servicios que suministra energía para las lámparas y equipos auxiliares.

#### **2.2.11. Diseño de la iluminación de la central de aire comprimido**

El uso eficiente de la iluminación y de los sistemas que la regulan supone un ahorro de la factura energética. Además, por el uso eficiente de la iluminación, se produce un ahorro en el consumo de aire acondicionado al reducir las cargas térmicas.

Para la central de aire comprimido se necesita luminarias para trabajar contra polvo e intemperie las cuales deben de resistir salpicaduras de agua, al igual que los tomacorrientes.

Este tipo de lámparas se encuentran en el mercado bajo diferentes marcas, se opta por una lámpara tipo LED, la cual da un ahorro energético, pero se caracterizan por tener las siguientes especificaciones:

- Beneficios del producto: puede extraerse del soporte para ser utilizada como luz portátil.

- Características del producto
  - Funcionamiento con batería resistente al polvo y luminaria resistente a salpicaduras de agua
  - Sensor de movimiento integrado
- Equipamiento / accesorios: pueden montarse con tornillos, tira adhesiva o imán

Figura 23. **Lámpara tipo LED**



Fuente: <http://www.osram.es/>. Consulta: abril de 2014.

### **2.2.12. Normas internacionales para el diseño de una central de aire comprimido**

La Norma ISO 8573-1:2010 especifica las clases de pureza de aire comprimido con respecto a las partículas, el agua y el aceite independiente de

la ubicación en el sistema de aire comprimido en el que se especifica o se mide el aire.

Esta norma, proporciona información general acerca de los contaminantes en los sistemas de aire comprimido, así como la medida de la pureza del aire comprimido o la especificación de los requisitos de pureza de aire comprimido.

Además, de los contaminantes de partículas, agua y aceite mencionados anteriormente, también identifica los contaminantes gaseosos y microbiológicos.

### **3. PROPUESTA DE MEJORA**

#### **3.1. Introducción**

Mediante los diagnósticos de energía eléctrica se detectan medidas de ahorro cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales. Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación; así como el análisis de la información estadística de los consumos y gastos por concepto de energía eléctrica.

#### **3.2. Cálculo de consumo de kw hora de la planta de empaque flexible**

Para realizar la tabla de consumo de energía eléctrica se tomó la información de 8 meses y se suman al total del consumo por mes. A continuación se presenta el consumo de 8 meses del año para poder sacar un promedio.

Tabla XIV. **Consumo de energía eléctrica**

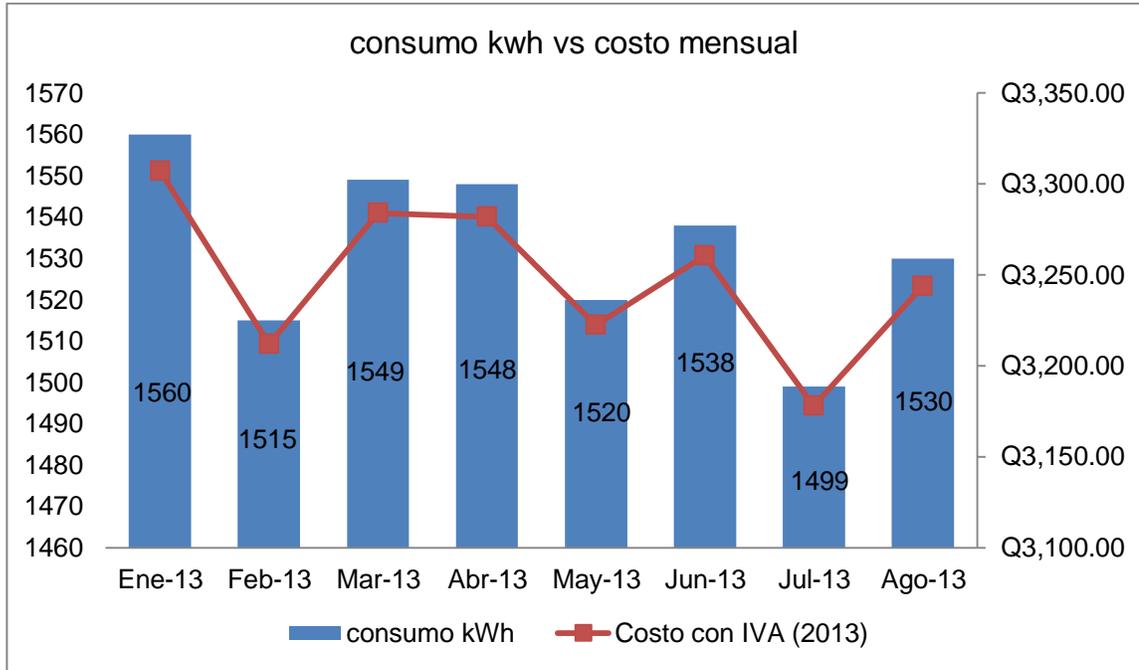
<b>fecha</b>	<b>consumo kWh</b>	<b>Q/kWh</b>	<b>Costo</b>	<b>Costo con IVA (2013)</b>
ene-13	1560	1.892847	Q2,952.84	Q3,307.18
feb-13	1515	1.892847	Q2,867.66	Q3,211.78
mar-13	1549	1.892847	Q2,932.02	Q3,283.86
abr-13	1548	1.892847	Q2,930.13	Q3,281.74
may-13	1520	1.892847	Q2,877.13	Q3,222.38
jun-13	1538	1.892847	Q2,911.20	Q3,260.54
jul-13	1499	1.892847	Q2,837.38	Q3,177.86
ago-13	1530	1.892847	Q2,896.06	Q3,243.58
promedio	1532.375	1.892847	Q2,900.55	Q3,248.62

Fuente: CEMSA.

### **3.3. Realizar un análisis sobre el costo actual de iluminación en la planta de empaque flexible**

A continuación se presenta el consumo de energía eléctrica en la empresa durante los meses de enero-agosto 2013. Los datos fueron proporcionados por parte de la gerencia general. Como se puede observar la factura de energía eléctrica está en un promedio de Q 3 250, al mes, valor que preocupa a la prensa porque son gastos elevados, los cuales deben de estar ajustando a su presupuesto trimestral. Por lo cual se busca fuentes ahorrativas de energía eléctrica dentro de la planta de producción.

Figura 24. **Gráfico de consumo mensual versus costo mensual**



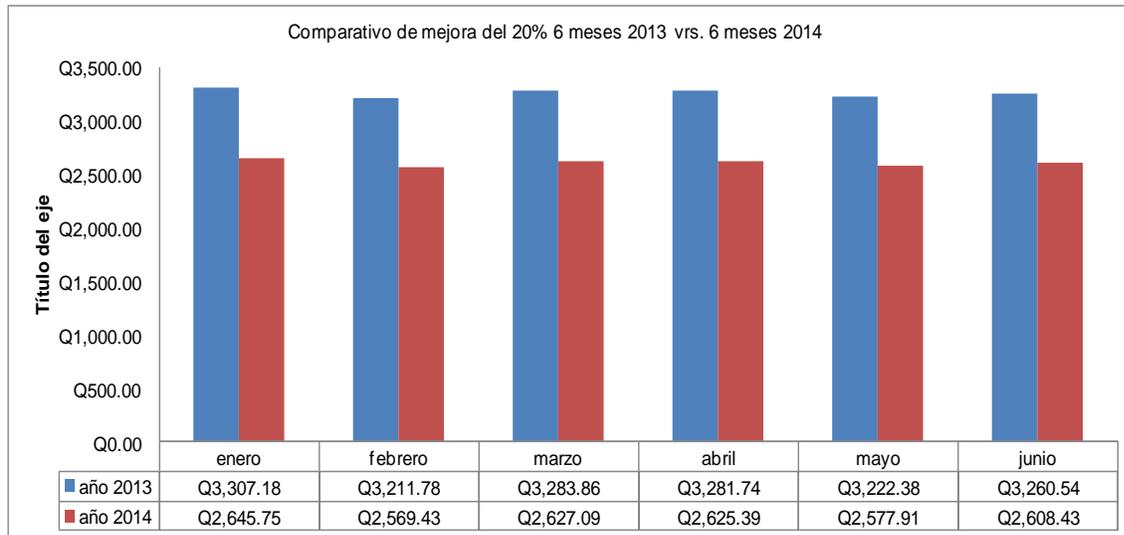
Costo promedio Q 3 250. Datos promocionados por la empresa.

Fuente: CEMSA.

Se realiza una evaluación en base a los consumos históricos de los meses del 2013.

Se comparan 6 meses del 2013 contra otros 6 meses del año donde se implementa el plan de reducción de energía eléctrica.

Figura 25. **Gráfico comparativo de consumo energético**



Datos de marzo, abril, mayo, junio, proyectados. Datos de la empresa.

Fuente: CEMSA.

Al realizar el análisis comparativo del consumo de energía eléctrica, al implementar medidas de ahorro energético se disminuirá la factura, estos datos pueden variar si el precio spot de la luz varía según la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

### 3.4. Proponer un plan de ahorro energético enfocado a Producción más Limpia

Si el plan se lleva a mediano plazo se puede estar hablando de un ahorro que representa un promedio de Q 652,00 mensuales que equivale a un 20 % de reducción del costo de energía eléctrica mensual en la factura y conforme se mejoren el plan el resultado será bastante ahorrativo.

Tabla XV. **Tabla comparativa de reducción de costos en energía**

reduccion 20%								
fecha 2013	consumo kWh	Q/kWh	Costo	Costo con IVA (2013)	fecha 2014	consumo kwh	costo con IVA (2014)	ahorro
enero	1560	1.89285	Q2,952.84	Q3,307.18	enero	1248	Q2,645.75	Q661.44
febrero	1515	1.89285	Q2,867.66	Q3,211.78	febrero	1212	Q2,569.43	Q642.36
marzo	1549	1.89285	Q2,932.02	Q3,283.86	marzo	1239.2	Q2,627.09	Q656.77
abril	1548	1.89285	Q2,930.13	Q3,281.74	abril	1238.4	Q2,625.39	Q656.35
mayo	1520	1.89285	Q2,877.13	Q3,222.38	mayo	1216	Q2,577.91	Q644.48
junio	1538	1.89285	Q2,911.20	Q3,260.54	junio	1230.4	Q2,608.43	Q652.11
<b>promedio</b>				<b>Q3,261.25</b>			<b>Q2,609.00</b>	<b>Q652.25</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Analizar y proponer el cambio de iluminación

Una iluminación correcta es aquella que permite distinguir las formas, los colores, los objetos en movimiento y apreciar los relieves, y que todo ello, además, se haga fácilmente y sin fatiga, es decir, que asegure el confort visual permanentemente.

Para ubicar adecuadamente las luminarias en el interior del área de trabajo debemos determinar el tipo de iluminación que se quiere tener es decir un tipo de iluminación directa.

La iluminación directa es aquella en la cual, la fuente luminosa está dirigida directamente hacia el área de trabajo o el área a iluminar. Este detalle nos ayudara a determinar valores claves en el diseño de iluminación.

- Uniformidad: la uniformidad es procurar que la iluminación sea lo más balanceado, evitando los contrastes muy fuertes, esto se relaciona en especial con el número de lámparas y la forma en que se distribuyan en el área de producción. Para lograr esta uniformidad existen dos normas, las normas alemanas y americanas, que recomiendan la altura de suspensión de las lámparas, que es el espaciamiento de las lámparas sobre el plano de trabajo que se detalla en la tabla siguiente:

Tabla XVI. **Tabla de altura de suspensión de lámparas**

<b>Norma</b>	<b>Altura en suspensión en metros</b>
Americana	2-3
Alemana	1,5 – 2,5

Fuente: FINK, Donald. *Manual de Ingeniería Eléctrica*. p. 61.

### **3.5.1. Analizar y proponer tecnología solar**

La energía solar fotovoltaica, corresponde a un sistema directo de conversión, ya que los fotones de la radiación solar interactúan de modo directo sobre los electrones del captador fotovoltaico para dar lugar al efecto fotoeléctrico y, en él, a la generación de corriente eléctrica.

El componente básico de este modo directo de conversión de la energía, es la denominada célula solar, con la que se construyen los paneles o módulos solares, los cuales proporcionan una corriente eléctrica de valor dependiente de la energía solar que incide sobre su superficie.

Un conjunto de componentes complementarios al panel, permiten acumular la energía eléctrica para utilizarla en tiempos diferentes a los de su obtención, cambiarla de formato a corriente alterna para alimentar electrodomésticos, y adaptarla para su inyección a las redes públicas de distribución de energía eléctrica, operación, esta última que requiere el proceso de sincronización de fase. Así, es posible dimensionar instalaciones para obtener energía eléctrica de los modos CD y CA, o ambos, para las siguientes aplicaciones principales:

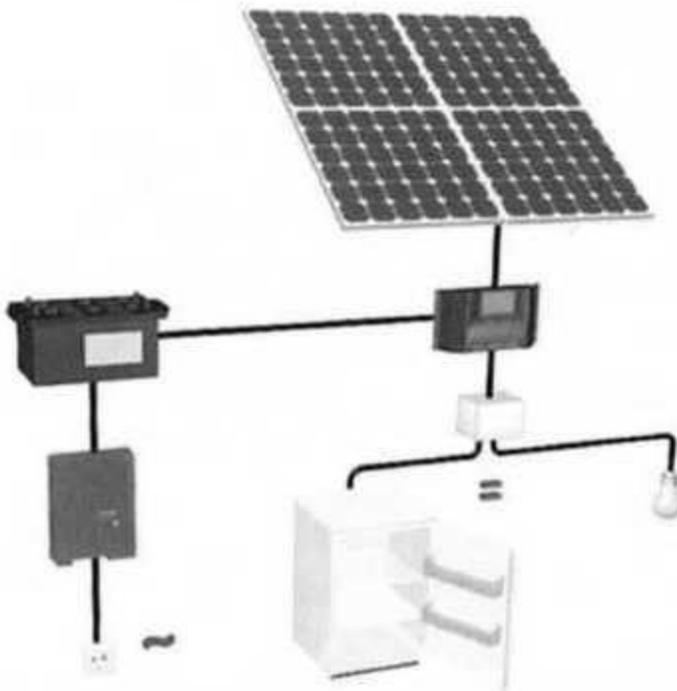
- Iluminación de casas, industrias, bodegas
- Iluminación de vallas publicitarias
- Señalización

Las instalaciones basadas en los paneles solares fotovoltaicos, están clasificadas en versiones en correspondencia con su arquitectura y utilización. Tales versiones son descritas a continuación.

- Instalaciones aisladas de la red: las instalaciones fotovoltaicas destinadas a la obtención de energía eléctrica para cualquier aplicación, que no tengan ningún punto de conexión con las redes de distribución de energía para inyectar en ellas corriente, se denominan aisladas. Un ejemplo típico correspondiente a la arquitectura de tales instalaciones, independiente de su capacidad; son las montadas en las viviendas rurales permanentes u ocasionales, a las que alimentan repetidores y aplicaciones similares. Tales instalaciones derivan a su vez en dos tipos que son:

- Instalaciones centralizadas, que son las que cubren la necesidad de un conjunto de viviendas, y cuya justificación está en la reducción del impacto ambiental y en motivos económicos.
- Instalaciones descentralizadas, que corresponden a las que cubren la necesidad de un solo usuario, ya sea vivienda, repartidor, etc.

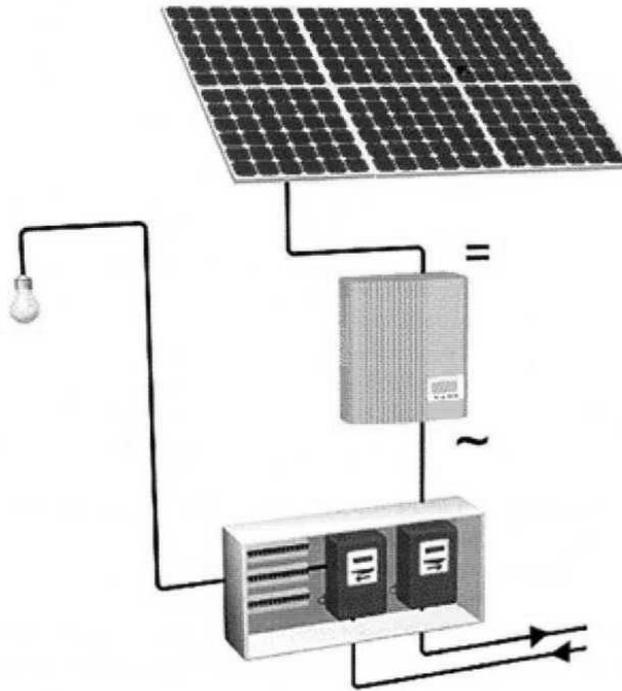
Figura 26. **Instalación fotovoltaica aislada de la red**



Fuente: MADRID, Vicente Antonio. *Energías renovables: fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. p. 359.

- Instalaciones con conexión a la red: corresponden tales instalaciones a las que están conectadas a la red pública de distribución de energía para dos posibles finalidades, que son:
  - Venta de la totalidad de la energía eléctrica generada
  - Venta de la energía eléctrica sobrante con respecto a la necesidad del lugar de generación
  - En tales instalaciones, intervienen dos nuevos componentes no empleados en la versión anterior, que son:
    - Un inversor de red, cuya finalidad es sincronizar la fase de la energía a inyectar con la de la red pública, único modo que permite el aporte energético
    - Un contador de energía eléctrica para medir la inyección de energía a la red a efectos de cobro

Figura 27. **Instalación conectada a la red**



Fuente: MADRID, Vicente Antonio. *Energías renovables: fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. p. 360.

### 3.5.2. **Analizar y proponer tecnología LED**

La luz emitida por un LED es proporcional a la cantidad de recombinaciones que tienen lugar, que es proporcional, a su vez, a la corriente directa en el diodo.

Los LED son dispositivos muy populares, tienen la aplicación en el diseño de diversos tipos de monitores, incluidos los de instrumentos de laboratorio como los voltímetros digitales. Se puede lograr que produzcan luz de diversos

colores, más aún, pueden diseñarse para que produzcan luz coherente con un ancho de banda muy estrecho. El dispositivo resultante es un diodo láser. Este tipo de diodo tiene aplicación en sistemas ópticos de comunicaciones y en reproductores de CD, entre otros.

- Ventajas
  - No requiere componentes adicionales
  - La iluminación es unidireccional y no representa ninguna contaminación luminosa.
  - No es atractivo a los insectos porque no emite rayos infrarrojos ni ultravioleta.
  - Puede integrarse fácilmente a un sistema de energía solar
  - No representa en lo absoluto ningún daño a la atmósfera ni al medio ambiente.
  - Proporciona un promedio del 80 % de ahorro de energía en comparación a aplicaciones basadas en sodio y aplicaciones metálicas.
  - Tiene una vida estimada de 50 000 horas, sin una seria degradación luminosa

- Lámparas LED
  - Especificaciones: producto perfecto para reemplazar lámparas en pisos de producción, almacenes, bodegas. Este modelo fácilmente reemplaza los luminarios tipo campana” de descarga (haluro metálico) que consumen 400 watts, reducción de costo inmediata del 50 %, más los ahorros en mantenimiento. Tiene un encendido inmediato, reduce a cero el tiempo de espera para tener una iluminación óptima.
  - Especificaciones técnicas
    - Consumo energético: versiones desde 60 watts hasta 200 watts
    - Voltaje: AC 85~265V,
    - Flujo luminoso: 6 600 a 35 000 lumens
    - Angulo de foco: 45/90/120 grados, opcional
    - Material: aluminio

Figura 28. **Usos de lámparas tipo LED en la industria**



Fuente: <http://www.blacktronics.com/portfolio/led-high-bay-light-200w/>. Consulta: abril de 2014.

- Tubo LED T8 para remplazar fluorescente
  - Consumo energético: 18 watts
  - Voltaje: 85-265V AC
  - Flujo Luminoso: 1 700 lumens
  - Color: 3 000 K (cálido), 4 500 K ( natural) 6 000 K(frio)
  - Dimensiones: 1,2 m-2,44 m

Figura 29. **Tubo LED**



Fuente: <http://www.blacktronics.com/portfolio/led-high-bay-light-200w/>. Consulta: abril de 2014.

### **3.6. Presentar un análisis de recuperación de inversión sobre las propuestas mencionadas**

En la teoría del análisis se hace la identificación de las actividades que se tiene previsto ejecutar, identificación las consecuencias predecibles de cada actividad, asignación de valores a cada consecuencia, reducción de todos estos valores a un común denominador (normalmente económicos), suma de todos los valores para obtener un valor neto, si se obtiene un valor positivo neto

entonces se podrá concluir que el proyecto genera un bienestar económico para la empresa.

El análisis se lo ha dividido en dos partes: debido a la subjetividad con las que ciertas actividades se medirán:

- Análisis costo beneficio cualitativo: para aquellas actividades que no se pueden cuantificar con es el caso de la motivación, bienestar del trabajador.
- Análisis costo beneficio cuantitativo: para aquellas actividades que se pueden cuantificar.

Tabla XVII. **Análisis Costo-Beneficio cualitativo**

RECURSOS	GRUPO AFECTADO		
	Empacadora	Calidad Total	Calidad Puerto
Nuevas oportunidades de negocio			Positivo
Calidad de impresión	Positivo		
Control estadístico del proceso	Positivo		
Empleo directo	Positivo		
Calidad empaque	Positivo		
Comparación entre otras plantas	Positivo		
Motivación por las actividades	Positivo		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Análisis Costo-Beneficio cuantitativo**

Detalles de costo	Costos	Detalle de beneficio	Beneficios económicos
Iluminación	\$ 13 572,00	Información ingresada a diario	\$ 108,00
		Personal operativo calificado	\$ 64 575,00
		Información al personal	\$ 189,00
		Evaluación de calidad dentro de la empresa	\$ 189,00
Costo total	\$ 13 572,00	Total de beneficios	\$ 65 061,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Tasa Interna de Retorno-Valor Anual Neto**

	0	1	2	3	4	5
<b>FLUJO DE INGRESOS</b>		\$ 39 000,00	\$ 39 000,00	\$ 39 000,00	\$39 000,00	\$ 39 000,00
<b>FLUJO DE EGRESOS</b>	\$ -	\$ 13 572,00	\$ 13 572,00	\$ 13 572,00	\$13 572,00	\$ 13 572,00
<b>FLUJO NETO</b>	\$(65 061,00)	\$ 25 428,00	\$ 25 428,00	\$ 25 428,00	\$25 428,00	\$ 25 428,00
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>	\$ 65 061,00	-	-	-	-	-
<b>TASA DE DESCUENTO</b>	14%	14%	14%	14%	14%	14%
<b>TASA DE RETORNO</b>	19%					

<b>VAN</b>	0	22 305,30	19 566,00	17 163,20	11 055,40	13 206,50
<b>TIR</b>	19%					
<b>VAN</b>	\$ 19 504,72					

Fuente: elaboración propia.

Como resultado se puede observar que la inversión es rentable, con una tasa interna de retorno de 19 % y un valor actual neto de \$ 19 504,72, lo que indica que la inversión es factible.



## **4. SEGUIMIENTO DE LA PROPUESTA**

### **4.1. Capacitación del personal encargado del traslado e instalación del equipo nuevo**

Las capacitaciones son métodos que proporcionan al personal de las empresas, los conocimientos básicos de técnicas adecuadas, herramientas y los medios a utilizar, para que logren un desempeño eficiente en sus labores y amplíen los conocimientos que poseen.

Las capacitaciones que se le brindarían a la fuerza laboral dentro de la empresa, serían parte de los métodos que se utilizan para el crecimiento y la motivación del personal.

- Acciones que se van a tomar: en dos pasos sencillos se mantendrá al personal capacitado para afrontar la problemática actual así como futuros problemas que se pueden presentar. En primer lugar se requiere que la empresa pueda reconocer las necesidades de capacitación en un momento dado y en segundo lugar, implementar un plan de capacitaciones que ayuden a disminuir los desperdicios.

Necesidades de capacitación: la empresa al enfrentarse con una nueva problemática atribuible al desempeño de sus trabajadores debe inmediatamente debe capacitarlos a fin de frenar los efectos que el problema pueda generar.

Para implementar una capacitación efectiva se deben establecer inicialmente las necesidades de capacitación realizando dos pasos básicos, los cuales son:

- Análisis de las tareas, para determinar si la capacitación será proporcionada por especialistas de la empresa o por terceros.
- Una evaluación del desempeño, ayudará a identificar las la deficiencias a las cuales la capacitación ira enfocada.

En diferentes áreas se pueden aplicar las capacitaciones, así las necesidades de capacitación abarcan niveles profesionales hasta niveles operativos. En general dependiendo en el área donde se genere una problemática existen variables utilizadas para la determinación de necesidades de capacitación, las cuales son:

- Evaluación de desempeño
- Observación
- Cuestionarios
- Solicitud de supervisores y gerentes
- Entrevistas con supervisores y gerentes
- Reuniones ínter departamentales
- Examen de empleados
- Modificación de trabajo
- Entrevista de salida
- Análisis de cargos

En los talleres y capacitaciones de personal deben llevarse a cabo algunas veces en forma de conferencias donde se le manifiesta al personal la forma de solucionar problemas, el trato al material, la importancia de respetar las especificaciones del producto, brindándoles conocimientos de almacenaje y sus responsabilidades, de una forma rápida, directa, concisa, haciéndoles ver cómo influyen sus acciones con la calidad y los cumplimientos de producción en las diversas líneas. A continuación se describen los talleres propuestos para la empresa.

Tabla XX. Plan de capacitaciones

<b>Aire comprimido</b>		
Duración 6 meses <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño e instalación de sistemas de generación y tratamiento de aire comprimido.</li> <li>• Diseño e instalación de redes de distribución (tubería de aluminio de acoplamiento rápido).</li> <li>• Análisis de Demanda de Aire.</li> <li>• Medición de Flujo de aire.</li> <li>• Medición de consumo de energía de su sistema de generación.</li> <li>• Detección de Fugas.</li> <li>• Análisis de calidad de aire.</li> <li>• Análisis de fluido de compresores.</li> <li>• Mantenimiento preventivo y correctivo (compresores y secadores de aire).</li> </ul>	Dirigido : área de producción y mantenimiento	Impartido por: INTECAP
<b>Mejores prácticas de manufactura</b>		
Duración: 10 horas	Dirigido: Jefes de departamento	Impartido por: INTECAP
<b>Seguridad e Higiene Industrial</b>		
Duración: 10 horas	Dirigido: Jefes de departamento, grupo operativo	Impartido por: INTECAP
Duración: 10 horas	Dirigido: Jefes de departamento, grupo operativo	Impartido por: INTECAP
<b>Sistema de sugerencias</b>		
Duración: 4 horas	Dirigido: Grupo operativo	Impartido por: Aseguramiento de la calidad
<b>Delegación de autoridad y liderazgo</b>		
Duración: 3 horas	Dirigido: Jefes de departamento, grupo operativo	Impartido por: Gerencia General
<b>Reducción de desperdicio</b>		
Duración: 4 horas	Dirigido: Jefes de departamento, grupo operativo	Impartido por: Gerencia de producción

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.1. Elaboración de documentos para comunicar la información**

Para que las capacitaciones se lleven con orden y control se debe de tener un registro de los talleres, cursos, impartidos. Para mayor facilidad se dividen en grupos según el área de trabajo o según el tema de las capacitaciones.

Para lo cual se lleva un registro de asistencia para determinar el porcentaje de cumplimiento por parte de cada trabajador.

El siguiente formato permitirá tener el registro de asistencia según sea el taller, curso, asignado.

Figura 30. Formato de asistencia 1

Grupo No.	<b>CONTROL DE ASISTENCIA A CAPACITACIONES, REUNIONES Y EVENTOS</b>		
	Taller	Nombre del taller	

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora de Inicio: \_\_\_\_\_ Hora de Finalización: \_\_\_\_\_

TIPO: Capacitación  Reunión  Evento

Tema: \_\_\_\_\_

Facilitador:

No.	NOMBRE	CARGO	FIRMA
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. Capacitación sobre el plan de mantenimientos preventivos y predictivos al personal de mantenimiento

Los compresores de aire cumplen un rol indispensable en las estaciones de servicio, si bien su presencia pasa desapercibida por la ausencia de inconvenientes, su cuidado y mantenimiento resultan indispensables para asegurar su buen funcionamiento.

Tabla XXI. Plan de capacitaciones mantenimiento

Neumática aplicada		
Duración 6 meses <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neumática</li> <li>• Aplicaciones de la neumática</li> <li>• Sistemas neumáticos</li> <li>• Compresores               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Desplazamiento positivo</li> <li>○ Dinámicos</li> </ul> </li> <li>• Tipos de compresores</li> <li>• Líneas secundarias</li> <li>• Unidad de mantenimiento               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Filtro de aire</li> <li>○ Regulador de presión</li> <li>○ Elementos de mando</li> <li>○ Accionamiento o control</li> <li>○ Circuitos de acondicionamiento</li> <li>○ Fijación de cilindros</li> <li>○ Sensores</li> </ul> </li> <li>• Circuitos neumáticos</li> <li>• Circuitos electroneumático</li> </ul>	Dirigido : área de producción y mantenimiento	Impartido por: INTECAP

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.1. Elaboración de documentos para comunicar la información**

Para que las capacitaciones se lleven con orden y control se debe de tener un registro de los talleres, cursos, impartidos. Para mayor facilidad se dividen en grupos según el área de trabajo o según el tema de las capacitaciones.

Para lo cual se lleva un registro de asistencia para determinar el porcentaje de cumplimiento por parte de cada trabajador.

El siguiente formato permitirá tener el registro de asistencia según sea el taller, curso asignado.

Figura 31. **Formato de asistencia 2**

Grupo No.	<b>CONTROL DE ASISTENCIA A CAPACITACIONES, REUNIONES Y EVENTOS</b>		
	Taller	Nombre del taller	

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora de Inicio: \_\_\_\_\_ Hora de Finalización: \_\_\_\_\_

TIPO: Capacitación  Reunión  Evento

Tema: \_\_\_\_\_

Facilitador:

No.	NOMBRE	CARGO	FIRMA
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Evaluaciones las capacitaciones

Para la evaluación de resultado de las capacitaciones ese hace una propuesta del formato de evaluación del impacto de la capacitación recibida, para determinar si ha sido la adecuada, según la opinión de los operarios y jefes de área.

**Figura 32. Evaluación del impacto de la capacitación**

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CAPACITACIÓN RECIBIDA										
<p><b>Instrucciones:</b> Para cada afirmación que se presenta a continuación, se dan cinco opciones de respuesta; el trabajador y el jefe inmediato deberán anotar en el cuadro correspondiente a cada curso, el número que identifique su grado de acuerdo o desacuerdo respecto de lo que se afirma:</p> <p>5 = Totalmente en acuerdo      4 = Parcialmente de acuerdo      3 = Indiferente      2 = Parcialmente en desacuerdo      1 = Totalmente en desacuerdo</p>										
<b>CURSOS/FECHA DE IMPARTICIÓN</b>										
AFIRMACIONES	Curso									
	Fecha									
<b>TRABAJADOR CAPACITADO</b>										
El curso recibido tiene relación con lo que realizas actualmente										
Los conocimientos teóricos recibidos te permiten realizar mejor el trabajo encomendado										
El curso contribuyó a mejorar la calidad de tu trabajo										
<b>JEFE INMEDIATO</b>										
El curso recibido por el empleado tiene relación con las actividades que realiza actualmente										
Los conocimientos teóricos adquiridos por el trabajador le permiten realizar mejor el trabajo encomendado										
El curso contribuyó a mejorar la calidad del trabajo de su subalterno										
<p><b>Instrucciones:</b> Para las preguntas que se presentan a continuación se dan cinco opciones de respuesta; el trabajador y el jefe inmediato, deberán anotar en el cuadro correspondiente a cada uno de los cursos la letra que mejor describa su percepción.</p> <p>a = Muy bueno      b = Bueno      c = Regular      d = Malo      e = Muy malo</p>										
<b>TRABAJADOR CAPACITADO</b>										
¿Cómo percibes, desde tu punto de vista, el desempeño de tus funciones?										
Antes del curso										
Después del curso										
<b>JEFE INMEDIATO</b>										
¿Cómo percibe, desde su punto de vista, el desempeño de las funciones del trabajador capacitado?										
Antes del curso										
Después del curso										
Comentarios:										
_____										
_____										
_____										
Nombre del Evaluador: _____ Firma: _____ Fecha: _____										
Firma del Evaluado: _____										

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. La planta de producción tiene un circuito de aire comprimido mal calculado, ya que se tienen diámetros inadecuados, grandes cantidades de accesorios, cambios bruscos de dirección en la red y válvulas mal dimensionadas.
2. El consumo actual de energía eléctrica de la planta de producción está en un promedio de 1 520 kwh, lo cual se traduce en un costo elevado en la factura de energía eléctrica, por lo cual se hace necesarios que exista un plan de ahorro energético, cambiando equipos y luminarias, utilizar la luz natural en las zonas que sean posibles.
3. La compra de equipo con eficiencia y con un consumo bajo de energía eléctrica, se traduce en una ahorro para la organización, se debe de buscar la forma de financiamiento para que la propuesta se factible, tenga una tasa de interés baja, su periodo de retorno de la inversión sean en los menos años posibles. Se deben de evaluar cada una de las propuestas presentadas por parte de los proveedores al momento de cotizar los precios de los equipos, así como la garantía pos venta.
4. Los riesgos ambientales son mínimos, dado que la empresa no se encuentra en una zona de área protegida, no tiene bosques a su alrededor, ríos, lagos, se encuentra en una zona industrial.

5. Se realiza una propuesta de un plan de capacitación para el personal operativo, técnico del área de producción, relacionado al mantenimiento del equipo, proceso de producción. Para la optimización de los equipos, materias primas utilizadas en el proceso de producción.

## RECOMENDACIONES

Al jefe de mantenimiento

1. Conocer con claridad el consumo de cada uno de los equipos a utilizar en la planta, para poder realizar un diseño adecuado.
2. Instalar válvulas de paso, que permitan independizar los ramales, con el fin de realizar ampliaciones, reparaciones y mantenimientos sin interrumpir la producción en las otras plantas.
3. Realizar inspecciones periódicas para verificar el buen funcionamiento del sistema.

Al personal de la planta

4. No dejar tuberías flexibles (mangueras) tiradas en el suelo ya que estas pueden ser dañadas y ocasionar pérdidas imperceptibles.
5. Revisar de manera periódica las unidades de mantenimiento con el fin de evitar el mal funcionamiento en el filtro de la unidad.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ABOITIZ LÓPEZ, Juan C. *La unidad impresora*. A.C. México: Unión de Industriales Litógrafos de México, 1993. 145 p.
2. ACLE, Tomasini. *Planeación estratégica de la calidad*. 6a ed. Argentina: Grijalva, 1990. 178 p.
3. CARNICER, E.. *aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones*. Barcelona: Gustavo Gili 1977. 224 p.
4. GRENE, Richard W. *Compresores, selección uso y mantenimiento*. 3a. ed. México: McGraw Hill, 1989. 450 p.
5. JUÁREZ PIZZ, Pedro Antonio. *Diseño de sistemas neumáticos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979, 118 p.
6. LÓPEZ CORONADO, William Antonio, *Diseño, montaje y prueba en marcha de una red de aire comprimido para un taller de prensas*: Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1997. 73 p.
7. PÉREZ, Carlos H.. *Manual laboratorio neumático*. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2001. 126 p.

8. \_\_\_\_\_ .*Manual de operación de prensas litográficas alimentadas por hojas*. 2a ed. Estados Unidos: Gaft, 1982. 145 p.