



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

**DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL USO DE  
HERRAMIENTAS NEUMÁTICAS AL SERVICIO DE LA HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA**

**Bayron Estuardo Vivar Velásquez**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL USO DE  
HERRAMIENTAS NEUMÁTICAS AL SERVICIO DE LA HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**BAYRON ESTUARDO VIVAR VELÁSQUEZ**  
ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto 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. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Sergio Antonio Torres Méndez
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 LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL USO DE HERRAMIENTAS NEUMÁTICAS AL SERVICIO DE LA HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA**

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

✓  
  
**Bayrón Estuardo Viver Velásquez**



Guatemala, 08 de febrero de 2013  
REF.EPS.DOC.171.02.13.

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León De de León  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León De de León.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Bayron Estuardo Vivar Velásquez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200113271, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL USO DE HERRAMIENTAS NEUMÁTICAS AL SERVICIO DE LA HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA”**.

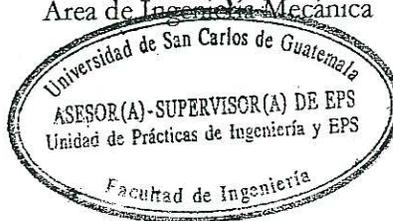
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EESZ/ra



Guatemala, 08 de febrero de 2013  
REF.EPS.D.75.02.13

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 LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL USO DE HERRAMIENTAS NEUMÁTICAS AL SERVICIO DE LA HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Bayron Estuardo Vivar Velásquez** 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 Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Sigrid Alitza Calderón  
Directora Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS  


SACde LDdL/ra

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la Directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación, DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL USO DE HERRAMIENTAS NEUMÁTICAS AL SERVICIO DE LA HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA del estudiante **Bayron Estuardo Vivar Velásquez**, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**



Guatemala, febrero de 2013

JCCP/behdei



DTG. 401 .2013

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 LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL USO DE HERRAMIENTAS NEUMÁTICAS AL SERVICIO DE LA HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA**, presentado por el estudiante universitario: **Bayron Estuardo Vivar Velásquez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 12 de junio de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser mi guía en cada instante de mi vida, dándome fuerzas para seguir adelante.
<b>Mis padres</b>	Mario Vivar y Sara de Vivar. Por su apoyo incondicional y estar siempre a mi lado.
<b>Mis abuelos</b>	Por su apoyo y cariño.
<b>Mis hermanos</b>	Melvin y Mario Vivar, por todo su apoyo durante mi carrera.
<b>Mi hijo</b>	Mario Estuardo, por darle sentido a mi vida y darme aliento para seguir adelante.
<b>Mi esposa</b>	Carolina Palacios de Vivar, por su apoyo en mi carrera y su comprensión por el tiempo que no compartimos juntos.
<b>Mis tíos</b>	Por darme el ejemplo de ser un buen profesional.
<b>Mis primos</b>	Por su ayuda y apoyo en el recorrido de mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi segunda casa y por todas las enseñanzas recibidas y haberme brindado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por haberme brindado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria formarme como un buen profesional.
<b>Mis amigos</b>	Sergio López, Agustín Caal, Gustavo Cubulé, Adolfo Salazar, José y Marcelo Díaz por su amistad, apoyo y consejos.
<b>Ing. José Fernando Díaz Castillo</b>	Por todo su apoyo en la realización de este trabajo de graduación.



	2.3.1.1.2.	Compresores alternativos de diafragma.....	13
	2.3.1.1.3.	Compresores rotativos .....	14
	2.3.1.1.4.	Compresor de tornillo....	17
	2.3.1.1.5.	Compresores de l6bulos rectos.....	18
	2.3.1.2.	Compresores din6micos .....	19
2.3.2.		V6lvulas.....	21
	2.3.2.1.	V6lvulas de abastecimiento .....	21
	2.3.2.1.1.	V6lvulas de compuerta.....	21
	2.3.2.1.2.	V6lvulas de globo .....	22
	2.3.2.1.3.	V6lvulas de diafragma ..	22
	2.3.2.2.	V6lvula de seguridad .....	23
2.3.3.		Accesorios.....	24
	2.3.3.1.	Acoples r6pidos .....	26
	2.3.3.2.	Sellantes.....	27
	2.3.3.3.	Filtros.....	28
	2.3.3.3.1.	Filtros de admisi6n.....	28
	2.3.3.3.2.	Filtros separadores .....	30
	2.3.3.4.	Man6metro de Burdon .....	32
	2.3.3.5.	Reguladores de presi6n.....	33
	2.3.3.6.	Lubricadores .....	34
	2.3.3.7.	Unidades de mantenimiento .....	35
	2.3.3.8.	Purgadores .....	36
	2.3.3.9.	Dep6sito de aire.....	37
2.3.4.		Elementos de conducci6n.....	38

2.3.4.1.	Materiales de tuberías.....	38
2.3.4.2.	Tuberías rígidas .....	39
2.3.4.3.	Tuberías semirígidas.....	39
2.3.4.4.	Tuberías flexibles .....	40
2.3.4.5.	Soportes de tuberías .....	41
2.3.5.	Enfriador de aire .....	42
2.3.5.1.	Enfriadores por circulación de agua .....	43
2.3.5.2.	Enfriador por circulación de aire .....	44
2.3.6.	Secadores de aire.....	45
2.3.6.1.	Secadores de aire refrigerados .....	46
2.3.6.2.	Secador por adsorción química o desecante .....	47
2.3.6.3.	Secador por absorción química o delicuescente .....	47
2.4.	Presión de trabajo y consumo de aire en herramientas neumáticas .....	48
2.4.1.	Ficha técnica de herramientas neumáticas .....	48
2.4.2.	Presión de trabajo de equipo neumático .....	54
2.4.2.1.	Presión de trabajo .....	54
2.4.2.2.	Consumo de aire de equipo neumático .....	54
2.4.2.2.1.	Consumo de aire .....	54
2.5.	Cálculos del diseño de la red de distribución de aire comprimido .....	57
2.5.1.	Longitud de tubería .....	57
2.5.2.	Cálculo de demanda de presión y caudal.....	57
2.5.3.	Pérdidas ocasionadas por accesorios .....	58
2.5.4.	Diámetro de tubería .....	59
2.5.5.	Cálculo para el taller de mantenimiento .....	61

	2.5.5.1.	Cálculo para futuras aplicaciones .....	61
	2.5.5.2.	Cálculo del diámetro de la tubería .....	61
		2.5.5.2.1. Cálculo para tubería de $\frac{3}{4}$ de diámetro .....	61
	2.5.6.	Pérdida de presión por fricción en tuberías.....	65
	2.5.7.	Dimensionamiento del depósito.....	66
	2.5.8.	Dimensionamiento del compresor .....	66
2.6.		Presupuesto del proyecto.....	67
	2.6.1.	Tiempo aproximado de instalación .....	67
	2.6.2.	Costo de los materiales .....	68
	2.6.3.	Mano de obra .....	69
	2.6.4.	Plano de red de aire comprimido .....	70
3.		FASE SERVICIO DE INVESTIGACIÓN.....	73
	3.1.	Ahorro energético.....	73
	3.2.	Análisis sobre cambio de tipo de luminarias .....	74
	3.3.	Aprovechamiento de la luz natural .....	77
	3.4.	Lúmenes utilizados en luminarias.....	78
		3.4.1. Consideraciones.....	80
		3.4.2. Análisis sobre el consumo de potencia en aparatos electrónicos .....	80
	3.5.	Diagnóstico .....	81
		3.5.1. Iluminación .....	82
		3.5.2. Aparatos eléctricos .....	82
		3.5.3. Situación actual de la empresa.....	82
	3.6.	Plan de mejora .....	83
		3.6.1. Iluminación .....	83
		3.6.1.1. Cambio de tipo de luminarias.....	84
		3.6.1.2. Aprovechamiento de la luz natural .....	86

3.6.1.3.	Temporizadores y sensores de movimiento.....	88
3.6.1.4.	Apagadores independientes.....	89
3.6.1.5.	Rotulación en aparatos y tomas de corriente .....	90
3.6.2.	Aparatos eléctricos .....	91
3.6.2.1.	Calentadores de agua solares.....	91
3.6.2.2.	Paneles solares.....	92
3.6.2.3.	Economizadores de energía en aparatos eléctricos .....	93
3.6.3.	Utilización de aire acondicionado .....	93
3.6.4.	Aplicación de pinturas de colores claros .....	95
3.6.5.	Ahorro de energía en el sistema de aire comprimido .....	95
4.	FASE DE DOCENCIA .....	97
4.1.	Capacitación al personal sobre ahorro de energía.....	97
4.2.	Programación de capacitaciones semestrales sobre ahorro de energía .....	98
4.3.	Capacitación por un experto en el ahorro de energía .....	99
4.4.	Evaluación de capacitaciones.....	100
4.5.	Resultado de las capacitaciones.....	102
	CONCLUSIONES .....	103
	RECOMENDACIONES.....	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	107
	APÉNDICES.....	109
	ANEXOS .....	111



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa de ubicación de la Hidroeléctrica Santa Teresa.....	2
2.	Circuito de aire comprimido abierto .....	5
3.	Circuito de aire comprimido cerrado .....	6
4.	Circuito de aire comprimido mixto .....	7
5.	Compresor alternativo de pistón.....	9
6.	Compresor alternativo de pistón de doble efecto.....	10
7.	Compresor de una etapa.....	11
8.	Compresor de etapas multiples .....	12
9.	Compresores alternativos de diafragma .....	14
10.	Compresor de aletas .....	15
11.	Compresor de anillo líquido.....	16
12.	Compresor de tornillo .....	17
13.	Compresor de lóbulos rectos.....	18
14.	Compresor centrifugo.....	20
15.	Compresor axial .....	20
16.	Válvula de compuerta.....	22
17.	Válvula de globo.....	23
18.	Válvulas de diafragma.....	24
19.	Válvulas de seguridad .....	25
20.	Accesorios .....	26
21.	Acoples rápidos.....	27
22.	Sellantes .....	28
23.	Filtro de aire .....	29

24.	Filtro separador .....	31
25.	Manómetro de Burdon .....	32
26.	Regulador de presión .....	33
27.	Lubricador .....	34
28.	Unidad de mantenimiento .....	35
29.	Purgador.....	37
30.	Depósito de aire .....	38
31.	Tubería galvanizada .....	39
32.	Tubería semirrígida.....	40
33.	Manguera .....	41
34.	Soporte de tubería .....	42
35.	Enfriador por circulación de agua .....	43
36.	Enfriador por circulación de aire .....	45
37.	Secador de aire refrigerado .....	46
38.	Secador por adsorción química .....	47
39.	Secador por absorción química .....	48
40.	Atornillador neumático .....	49
41.	Taladro neumático .....	50
42.	Pulidora neumática .....	50
43.	Pistola de aire para pintar .....	51
44.	Llave de impacto .....	52
45.	Lijadora neumática .....	52
46.	Bomba engrasadora .....	53
47.	Remachadora neumática.....	53
48.	Planta del taller de mantenimiento .....	71
49.	Sección de taller de mantenimiento .....	72
50.	Equivalencias de consumo de luminarias .....	79
51.	Consumo de aparatos electrónicos.....	81
52.	Equivalencias de luminarias tradicionales con tecnología LED .....	84

53.	Lamina traslúcida .....	87
54.	Temporizador y sensor de movimiento.....	89
55.	Apagado.....	90
56.	Rotulación .....	90
57.	Calentador de agua solar .....	92
58.	Panel solar .....	93
59.	Aire acondicionado.....	94
60.	Pinturas para interiores .....	95
61.	Capacitaciones.....	98

## TABLAS

I.	Presión de trabajo de herramientas neumáticas .....	55
II.	Consumo de aire de equipo neumático .....	56
III.	Consumo de herramientas neumáticas .....	58
IV.	Longitud equivalente de accesorios y válvulas .....	59
V.	Factores de pérdidas de presión por fricción en tuberías .....	60
VI.	Longitud equivalente en accesorios de ¾ de pulgada .....	62
VII.	Primera interpolación .....	63
VIII.	Longitud equivalente en accesorios de una pulgada de diámetro .....	64
IX.	Segunda interpolación.....	64
X.	Ficha técnica del compresor.....	67
XI.	Programación de tiempo y actividades desarrolladas en el proyecto....	68
XII.	Cotización de materiales .....	69
XIII.	Presupuesto de personal .....	70
XIV.	Balance de luminarias instaladas actualmente en la planta.....	85
XV.	Balance de luminarias a instalar en la planta .....	85
XVI.	Ahorro al instalar láminas traslúcidas .....	88
XVII.	Programación de capacitaciones .....	99

XVIII. Ejemplo de evaluación de la capacitación ..... 101

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Hp</b>	Caballos de fuerza
<b>CO2</b>	Dióxido de carbono
<b>Gal</b>	Galones
<b>° C</b>	Grados Celsius
<b>K</b>	Grados Kelvin
<b>H/año</b>	Horas por año
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>kw</b>	Kilowatts
<b>kwh/año</b>	Kilowatts hora por año
<b>kwh</b>	Kilowatts por hora
<b>Lbs</b>	Libras fuerza
<b>Lts</b>	Litros

<b>lt / min</b>	Litro por minuto
<b>lm</b>	Lúmenes
<b>lm/año</b>	Lúmenes por watt
<b>Mw</b>	Mega Watt
<b>mts</b>	Metros
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	Metros cúbicos por hora
<b>nm</b>	Nanómetros
<b>pies<sup>3</sup></b>	Pies cúbicos
<b>Cfm</b>	Pies cúbicos por minuto
<b>pies<sup>3</sup>/ min</b>	Pies cúbicos por minuto
<b>“</b>	Pulgadas
<b>Q</b>	Quetzales
<b>Rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>V</b>	Voltios
<b>W</b>	Watts

## GLOSARIO

<b>Absorción</b>	Procedimiento puramente químico de admitir en una materia sólida o líquida, otra gaseosa o líquida.
<b>Adsorción</b>	La base del principio de adsorción es un procedimiento físico, fijación de gases, vapores y sustancias disueltas en la superficie de un cuerpo sólido.
<b>Aire comprimido</b>	Aire a presión, es una fuente de energía obtenida con compresores, que sirve como agente de transporte a través de tubos para hacer funcionar herramientas neumáticas.
<b>Caída de presión</b>	La diferencia de presión existente entre dos puntos de una tubería de aire comprimido.
<b>Caudal</b>	Es el flujo en volumen por segundo que pasa por una tubería o por una abertura. Las unidades más usadas son metros cúbicos por segundo y pies cúbicos por minuto.
<b>Presión</b>	Se denomina presión a la fuerza por unidad de superficie ejercida por un medio sobre sus límites. Las unidades comunes son bar y psi.

**Temperatura**

Es un índice de la energía interna relativa de la masa. Las unidades más usadas grados Celsius y grados Fahrenheit.

**Volumen**

Espacio ocupado por un cuerpo o sustancia. Las unidades más comúnmente utilizadas son metros cúbicos y pies cúbicos.

## RESUMEN

El aire comprimido es una de las fuentes de energía que más se utilizan en la actualidad, ya que esta tiene otras ventajas que las demás fuentes de energía no tienen, como es el bajo costo de este tipo de energía comparado con otras.

Por lo que en la industria, plantas de producción y talleres de mantenimiento utilizan el aire comprimido como fuente de energía.

El aire comprimido es ideal como fuente de energía para herramientas en las que su principio de funcionamiento es la velocidad, como las herramientas neumáticas que necesitan aire comprimido para su funcionamiento.

Por lo que el diseño de una red de aire comprimido es necesario para poder distribuir el aire comprimido del compresor hasta el punto de consumo más alejado.

Del buen diseño de la red de aire comprimido dependerá el funcionamiento óptimo de las herramientas neumáticas, así como la buena distribución del fluido y también el evitar posibles fallas en el futuro.

En el siguiente trabajo se observara el diseño de una red de distribución de aire comprimido de un taller de mantenimiento de una central hidroeléctrica, el consumo de aire de las diferentes herramientas así como el tipo de depósito y compresor que se necesita para esta red de aire comprimido.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar una red de aire comprimido para la conducción del mismo, que alimentan las herramientas neumáticas del taller de mantenimiento de la Hidroeléctrica Santa Teresa.

### **Específicos**

1. Calcular el consumo de aire comprimido de todas las herramientas neumáticas a utilizar en el taller de mantenimiento para poder dimensionar la capacidad de nuestro compresor.
2. Obtener por medio de cálculos matemáticos, las dimensiones más adecuadas para el diámetro de tubería a utilizar en la red de aire comprimido, para poder tener el mínimo de pérdidas por fricción en las tuberías.
3. Obtener por medio de cálculos matemáticos, la longitud de toda la tubería a utilizar, hasta el punto más alejado de consumo y pérdidas por accesorios.
4. Obtener por medio de cálculos matemáticos, el dimensionamiento del depósito de aire y compresor con el fin de no sobre dimensionarlos.

5. Elaborar el presupuesto para poder implementar el proyecto.
6. Proponer un plan de ahorro energético a implementar en la Hidroeléctrica Santa Teresa.
7. Planificar capacitaciones para poder ahorrar energía dentro de la planta, para todo el personal que labora en la empresa.

## INTRODUCCIÓN

En marzo del 2011 fue inaugurada la Hidroeléctrica Santa Teresa en el departamento de Alta Verapaz, Guatemala, generando 16,2 mega watts. En el diseño de la central hidroeléctrica no se tuvo la previsión de la instalación de una red de distribución de aire comprimido para el servicio del taller de mantenimiento de esta hidroeléctrica; ya que muchas herramientas utilizadas en dicho taller utilizan como fuente de energía el aire comprimido. Por lo cual este trabajo está constituido como una propuesta del diseño de la red de aire comprimido para el taller de mantenimiento, en el cual se toman todos los parámetros necesarios para la realización de este diseño.

En este trabajo se desarrolló el cálculo del depósito de aire, tipo de compresor, tuberías, pérdida por fricción en tuberías y otros parámetros que fueron necesarios para el diseño de este.

Se propuso un plan de ahorro energético ya que la planta no posee con plan de ahorro energético, lo que con lleva a un desperdicio de energía innecesario. En el plan de ahorro energético contempla varios cambios como luminarias y aparatos eléctricos. Ya que con el cambio de estos se reduce el consumo de energía en toda la planta.

La capacitación de todo el personal para el buen uso de nuestro recurso energético es de vital importancia, ya que todo el personal es consumidor de este tipo de energía. Dichas capacitaciones contribuyen en un buen porcentaje al ahorro energético.



# **1. GENERALIDADES**

## **1.1. Misión**

“Contribuir al desarrollo del mercado eléctrico nacional y regional, a través de la producción, transporte y comercialización de electricidad en armonía con el medio ambiente, permitiendo como empresa nacional cumplir con su función social, incrementar la electrificación rural, suministrar un servicio eficiente y de calidad para el progreso de Guatemala.”

## **1.2. Visión**

“Ser la institución eléctrica nacional líder e impulsora del desarrollo del mercado eléctrico nacional y regional cumpliendo con estándares de calidad mundial y un fiel compromiso con el medio ambiente, a través de la actualización tecnológica y excelencia de su recurso humano.”

## **1.3. Actividad que realiza la planta**

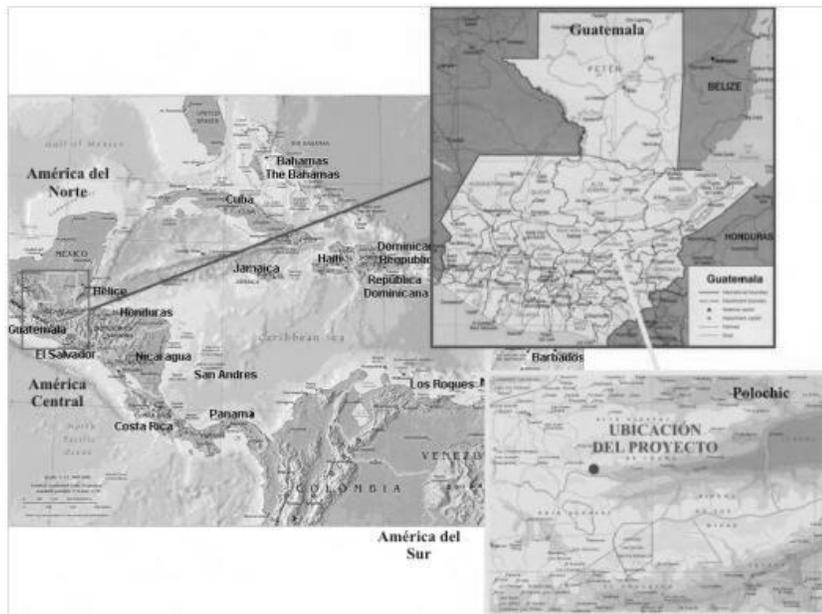
Es una empresa que se dedica a la generación de energía eléctrica limpia por medio de una central hidroeléctrica, aprovechando el caudal del río Polochic, la cual cuenta con dos turbinas tipo Francis de eje vertical con una potencia instalada total de 16,2 mega watts.

#### 1.4. Localización de la planta

. A 220 kilómetros de la ciudad capital de encuentra Tukurú, también conocido como San Miguel Tukurú, ver figura 1, es un municipio en el departamento de Alta Verapaz en la República de Guatemala. Tiene una población de 28 421 habitantes (según censo de 2002) repartidos sobre la cabecera municipal, 3 aldeas y 59 caseríos. La gran mayoría de la población pertenece a la etnia Q'eqchi' y Pocomchi'.

El río Polochic recorre la región de Alta Verapaz, Guatemala, caracterizada por su ambiente selvático tropical y su alta actividad sísmica

Figura 1. Mapa de ubicación de la Hidroeléctrica Santa Teresa



Fuente: <http://www.corporaciónmultiinversiones.com>. Consulta: 15 de mayo del 2012.

## **2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1. Definición de aire comprimido**

El aire del ambiente de una manera se puede decir que es la materia prima de los sistemas de aire comprimido.

Este está compuesto básicamente de nitrógeno (78 %), oxígeno (21 %), argón (0,9 %) y trazas (0,1 %) de bióxido de carbono, neón, helio y kriptón; este es físicamente inodoro, incoloro y no tiene sabor.

El aire comprimido no es otra cosa más que el mismo aire del ambiente atrapado en un mecanismo donde se le incrementa su presión por medio de la reducción de su volumen a través de un proceso mecánico. La máquina que se encarga de realizar este trabajo es conocida como compresor, del cual existen básicamente dos tipos: los compresores de desplazamiento positivo y los compresores dinámicos.

Un sistema de aire comprimido se divide en dos partes: el suministro y la demanda. En el lado del suministro, encontraremos el paquete de compresión, compuesto por el compresor, el motor del compresor, controladores y equipos de tratamiento de aire, como filtros, enfriadores, secadores y tanques de almacenamiento. Por el lado de la demanda, están el cabezal principal, compuesto por las líneas principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricadores, equipos de mantenimiento y equipos neumáticos.

El uso de aire comprimido es muy común en la industria, su uso tiene la ventaja sobre los sistemas hidráulicos de ser más rápido, aunque es menos preciso en el posicionamiento de los mecanismos y no permite fuerzas grandes.

## **2.2. Circuito de aire comprimido**

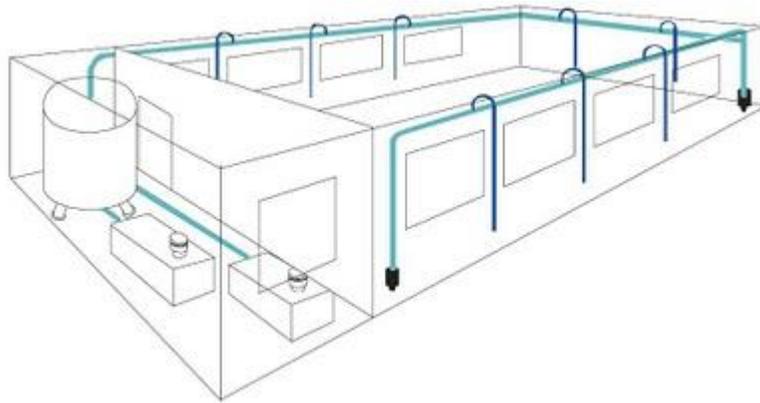
Es el conjunto de todas las tuberías que parten del depósito, colocadas fijamente y unidas entre sí, que conducen el aire comprimido a los puntos de toma para los equipos consumidores individuales.

### **2.2.1. Sistema de aire comprimido en circuito abierto**

La implementación de sistemas en circuito abierto en líneas principales de aire comprimido (ver figura 2), está limitado a aquellos sistemas en los que los puntos de uso son pocos y el compresor se encuentra relativamente cercano a ellos. Para instalaciones más grandes, su implementación se ve limitada, pues presenta dificultad en cuanto a la velocidad de distribución del aire, dado a las características de su diseño y a la presencia de fluctuaciones en la presión de la línea, lo que requiere de una mayor supervisión en cuanto al control de presión y flujo durante su operación.

Una de las ventajas que presenta es que pueden instalarse filtros y reguladores sobre la línea principal ya que la dirección del flujo va en una sola dirección, permitiendo mantener la línea principal más limpia.

Figura 2. **Circuito de aire comprimido abierto**



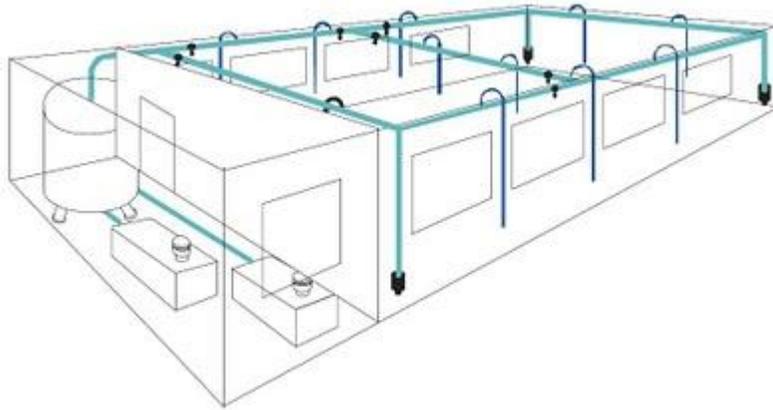
Fuente: <http://www.industrial-automatica.blogspot.com>. Consulta: 16 de mayo del 2012.

### **2.2.2. Sistema de aire comprimido en circuito cerrado**

Este tipo de circuito es el más utilizado en el diseño de líneas principales de distribución de aire comprimido, dado que presentan la ventaja sobre los sistemas de circuito abierto en que la velocidad del flujo en los puntos de uso es constante, debido a que el flujo se comparte en la línea y converge en el punto de uso en dos direcciones, ver figura 3.

La utilización de filtros separadores en la línea principal no es posible ya que estas unidades traen definidas la dirección del flujo por lo que la utilización de filtros separadores se hace en los puntos de uso. Para el drenado de la línea principal se hace necesario hacer una ramificación adicional únicamente con fines de drenado en los puntos más bajos de la línea.

Figura 3. **Circuito de aire comprimido cerrado**



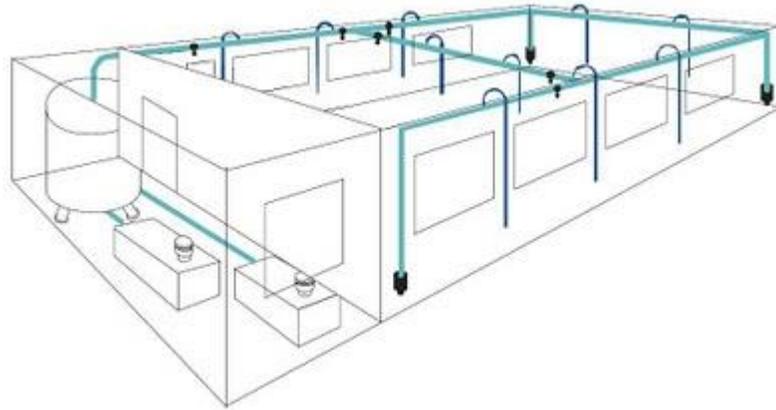
Fuente: <http://www.industrial-automatizada.blogspot.com>. Consulta: 16 de mayo del 2012.

### **2.2.3. Circuito de aire comprimido mixto**

La combinación de los dos sistemas anteriores forman un circuito mixto ver figura 4, utilizando el circuito cerrado para la línea principal y el circuito abierto en todos o algunos de los ramales de distribución, dependiendo de las características específicas de cada planta eso presenta la ventaja de poder utilizar las características de cada uno de los sistemas anteriores, con la posibilidad de educarlas según sean los requerimientos.

Por ejemplo, si se tiene una sección en la planta en la cual se utilizara dos o tres puntos de uso; utilizar una ramificación en circuito abierto puede presentar mayores ventajas que utilizar un circuito cerrado en esa sección, ya que el número de puntos es limitado.

Figura 4. **Circuito de aire comprimido mixto**



Fuente: <http://www.industrial-automatica.blogspot.com>. Consulta: 16 de mayo del 2012.

### **2.3. Elementos de un sistema de aire comprimido**

Un sistema de aire comprimido, consta de tres elementos básico: compresor, que se utiliza para la producción de aire comprimido, los cuales pueden clasificarse en compresores de desplazamiento positivo (o flujo intermitente) y compresores de flujo continuo.

Sistema de distribución que consta de los elementos por los cuales el aire es transportado (tuberías y válvulas); donde desde el compresor hasta el punto de utilización más lejano, este no deberá tener una pérdida de presión mayor al cinco por ciento.

### **2.3.1. Compresores de aire**

El compresor de aire, es una máquina que aspira el aire del ambiente a presión atmosférica y lo comprime para elevarle la presión, almacenando energía para ser utilizada en el accionamiento de equipo o herramientas neumáticas.

La unidad fundamental de un sistema de aire comprimido es el compresor; el que por su forma de comprimir el aire se puede clasificar en dos grupos:

- Compresores de desplazamiento positivo
- Compresores dinámicos

#### **2.3.1.1. Compresores de desplazamiento positivo**

Este tipo de compresores aumentan la presión directamente por reducción de volumen en la cámara que encierra el gas.

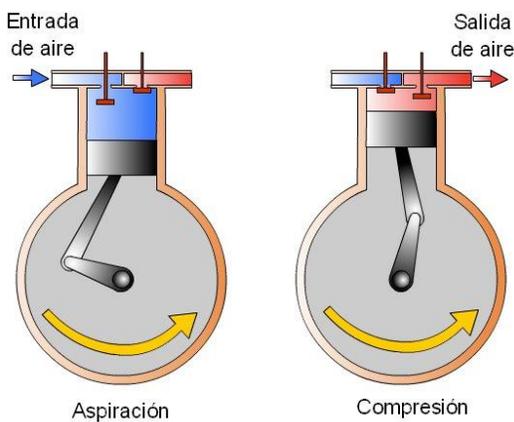
Esta acción es aprovechada para dar un servicio con una relación de presión relativamente elevada, aunque presenta ciertas dificultades por las altas temperaturas y la condensación. Dentro de este grupo se encuentran clasificados los siguientes tipos de compresores:

- Alternativos de pistón
- Alternativos de diafragma
- Rotativos
- De tornillo
- De lóbulos rectos

### 2.3.1.1.1. Compresores alternativos de pistón

Es el tipo más común y el más antiguo de los compresores de desplazamiento positivo, ver figura 5. Estos son utilizados en los sistemas donde se requieren altas presiones, ya que estos son eficientes para trabajar a cargas parciales o a plena carga.

Figura 5. **Compresor alternativo de pistón**



Fuente: BUENO, Antonio. Neumática e hidráulica. p. 58.

Existen dos tipos de compresores alternativos de pistón:

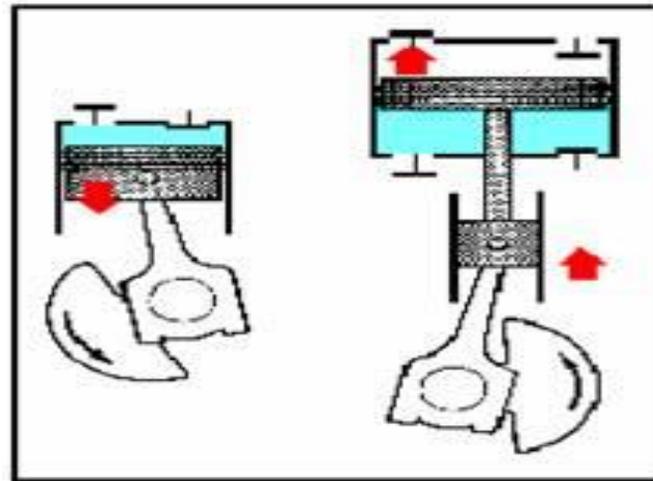
- De simple efecto
- De doble efecto

Los compresores de simple efecto realizan solamente una carrera de admisión y una de compresión por una revolución del cigüeñal.

Sus componentes: cárter, cilindro, pistón, bulón del pistón, biela y cigüeñal, es similar al de un motor de gasolina. Solo que estas unidades regularmente son más pequeñas que un motor a gasolina.

Los compresores de doble efecto son unidades más grandes, en la cual el pistón posee dos caras, por los que realiza dos carreras de admisión y dos de compresión por cada revolución del cigüeñal, ver figura 6. El pistón es accionado por un vástago de pistón por medio de una cruceta similar a la de una máquina de vapor.

Figura 6. **Compresor alternativo de pistón de doble efecto**



Fuente: BUENO, Antonio. Neumática e hidráulica. p. 38.

Otra clasificación de los compresores alternativos de pistón está referida al procedimiento que utiliza para realizar la compresión del gas:

- Compresores de una etapa
- Compresores de etapas múltiples
- Compresores de una etapa

La compresión del aire desde la presión inicial a la final, en este tipo de compresores, se realiza en un solo paso o etapa. Es decir que el aire aspirado en la carrera descendente del pistón, es comprimido en la carrera de compresión hasta llevarlo a la presión requerida y es entregado directamente al depósito o a la línea principal, ver figura 7.

Figura 7. **Compresor de una etapa**



Fuente: <http://www.ar.all.biz>. Consulta: 18 mayo 2012.

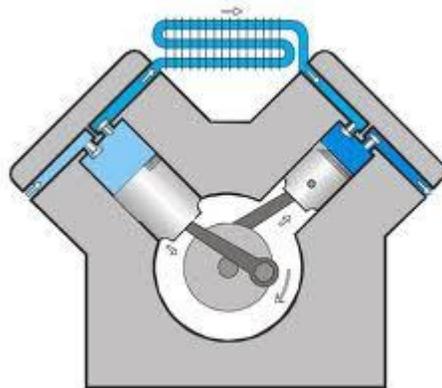
- Compresores de múltiples etapas

Puede decirse que estas unidades se encuentran constituidas por dos o más unidades de una etapa.

El aire del exterior es aspirado por uno o varios pistones, es comprimido hasta una presión mucho menor que la requerida, luego es descargada a un enfriador para poder disipar el calor de la compresión anterior; en seguida entra a otro u otros cilindros en donde nuevamente es comprimido repitiéndose el procedimiento anterior, dependiendo del número de etapas, hasta llevarlo a la presión requerida para ser descargado al depósito o a la línea principal.

Por el proceso que se sigue para lograr la compresión total del gas, presenta la ventaja de entregar un aire más frío a presiones elevadas sin riesgos de sobrecalentamiento, pues el aire es enfriado entre cada etapa, ver figura 8.

Figura 8. **Compresor de etapas multiples**



Fuente: GUERRA, Javier. Fundamentos de la compresión gaseosa. p. 25.

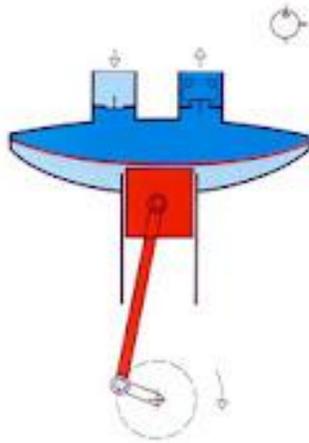
### **2.3.1.1.2. Compresores alternativos de diafragma**

El funcionamiento de este tipo de compresores es similar al de un alternativo de pistón, diferenciándose en que tiene una membrana flexible o diafragma en lugar del pistón. Esta membrana puede ser activada por medios mecánicos o hidráulicos.

El movimiento alternativo en los compresores activados mecánicamente se realiza por medio de una excéntrica colocada sobre el rotor, la cual acciona una biela que está sujeta a la membrana. Los activados por medio hidráulico, tienen una bomba de presión del tipo de pistón, el que es accionado directamente desde el cigüeñal por medio de una biela, este pistón eleva la presión del fluido que actúa en la parte inferior de la membrana, produciéndose así el movimiento alternativo, ver figura 9.

Los compresores que son activados por medios mecánicos, se utilizan en donde de requieren capacidades pequeñas y bajas presiones; mientras que los activados por medios hidráulicos se utilizan para requerimientos de altas presiones.

Figura 9. **Compresores alternativos de diafragma**



Fuente: LUNA, Daniel. Transporte de fluidos. p. 32.

### 2.3.1.1.3. **Compresores rotativos**

La característica principal de estos compresores es que no poseen válvulas, ya que constan únicamente de lumbreras tanto en la admisión como en la descarga. Dentro de este tipo se tiene:

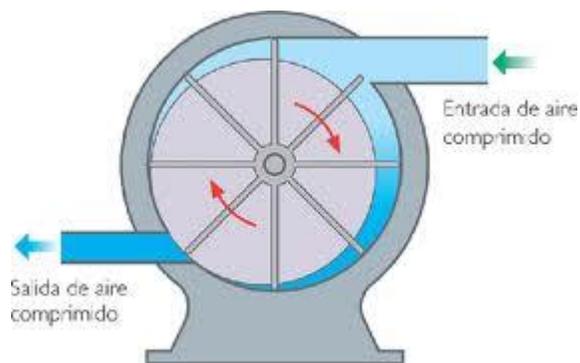
- Compresores de aletas
- Compresores de anillo líquido
- Compresores de aletas

El compresor de aletas consta de una carcasa cilíndrica dentro de la que va montado en forma excéntrica un rotor ranurado, sobre el que van colocadas unas aletas deslizantes en forma radial.

La fuerza centrífuga generada al girar el rotor hace que las aletas se mantengan pegadas contra la superficie de la carcasa y por la excentricidad del rotor, las paletas se extienden y retraen alternadamente dentro del rotor. El aire es aspirado de la lumbrera de admisión que está colocada en la parte más excéntrica y entra en el espacio entre aletas, donde este espacio es mayor, al girar el rotor el volumen de aire o gas va disminuyendo hasta alcanzar la lumbrera de descarga.

Las aletas están constituidas principalmente de asbesto o de algodón impregnado con resina fenólica, aunque en algunos casos también son utilizadas aletas de acero con superficie endurecida. En unidades (auto lubricados) se utilizan bronce o grafito, ver figura 10.

Figura 10. **Compresor de aletas**



Fuente: LUNA, Daniel. Transporte de fluidos. p. 35.

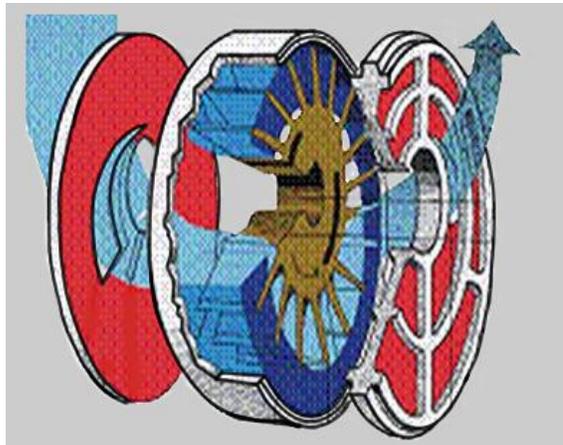
- **Compresores de anillo líquido**

Estos compresores están constituidos por un rotor con álabes fijos, montados dentro de una carcasa, de tal forma que la cámara varíe cíclicamente en cada revolución.

El cilindro se encuentra parcialmente lleno con un líquido, el cual regularmente es agua, la que por la acción de la fuerza centrífuga forma un anillo dentro del cilindro, lo que forma la cámara de compresión, dentro de la cual se va reduciendo el volumen en forma similar al compresor de aletas, ver figura 11.

Estos compresores encuentran su principal aplicación en sistemas en los que se requiere de un aire relativamente frío.

Figura 11. **Compresor de anillo líquido**



Fuente: <http://www.tecbovac.com.mx>. Consulta: 20 de mayo del 2012.

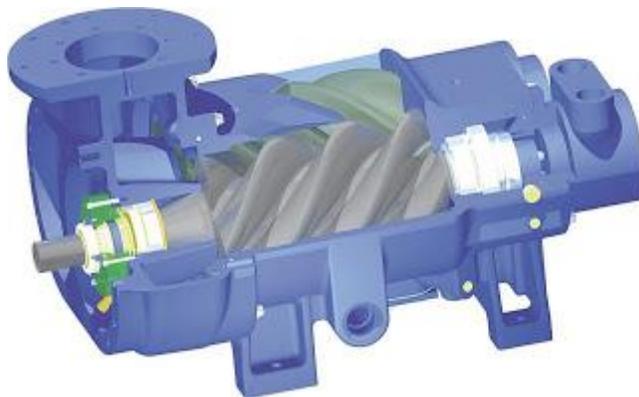
#### 2.3.1.1.4. Compresor de tornillo

La parte principal de estos compresores está constituido por un par de elementos colocados en contra rotación, con acanaladuras helicoidales que engranan entre sí. Estos se encuentran encerrados dentro de una cubierta hermética, ver figura 12.

El aire es aspirado en un extremo en donde la acanaladuras se encuentran abiertas siendo atrapado cuando estas acanaladuras engranan entre sí, comprimiéndolo al continuar el ciclo de rotación como consecuencia de la reducción de volumen dentro de las acanaladuras hasta llevarlo al punto de descarga.

La relación de compresión de este tipo de compresores depende de la longitud y perfil del tornillo. Este compresor no está equipado con ninguna válvula y no existen fuerzas mecánicas que lo desequilibren. Por lo tanto puede trabajar a altas velocidades sin provocar demasiado ruido y vibración.

Figura 12. **Compresor de tornillo**



Fuente: <http://www.raavelazquezlopezdaniel.blogspot.com>. Consulta: 21 mayo 2012.

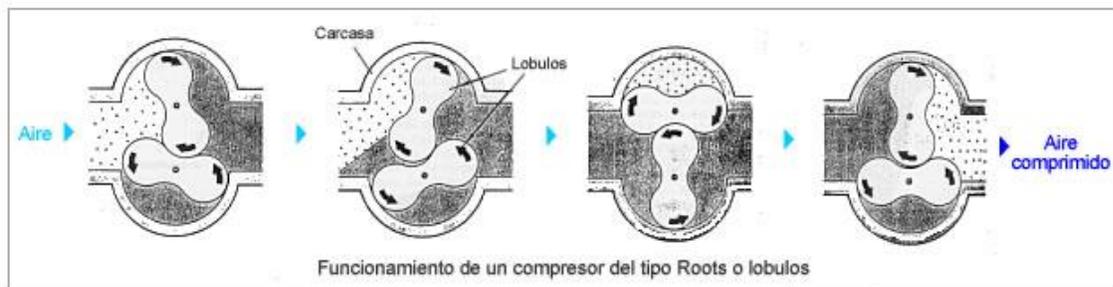
### 2.3.1.1.5. Compresores de lóbulos rectos

Aunque estos compresores son de desplazamiento positivo, su funcionamiento está limitado a bajas relaciones de presión, razón por la cual se les denomina comúnmente como sopladores. Están compuestos por dos lóbulos rectos colocados dentro de una carcasa, los que engranan en contra rotación, ver figura 13. La compresión es producida por el contrario flujo al dejar el rotor abierta la compuerta de descarga.

Los lóbulos no se tocan entre sí ni rozan la carcasa por lo tanto este tipo de compresor no precisa lubricación.

Estos compresores se utilizan principalmente para bajas presiones, también son utilizados como bombas de vacío, que trabajan con presiones de succión menores a la atmosférica.

Figura 13. **Compresor de lóbulos rectos**



Fuente: <http://www.foroaudispaincreatufututo.com>. Consulta: 22 de mayo del 2012.

### 2.3.1.2. Compresores dinámicos

Estos compresores se diferencian de los compresores de desplazamiento positivo en que la compresión se realiza indirectamente, es decir, que inicialmente se le imprime una velocidad de aire y luego es convertida esta energía cinética, en energía de presión. Este tipo de compresor generalmente se compone de una sola pieza móvil, un rotor de aspas, que giran dentro de una carcasa hermética.

Esta son unidades relativamente grandes y son utilizadas en sistemas en los cuales los requerimientos de abastecimiento de aire son muy grandes y las presiones son relativamente moderadas. Estos se clasifican en:

- Compresores centrífugos
- Compresores axiales
- Compresores centrífugos

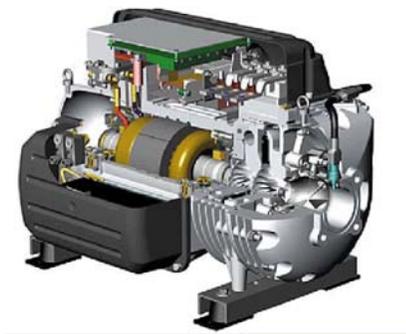
Se dice que este es un compresor de flujo radial ya que el gas o aire es acelerado desde el centro de una rueda giratoria, por acción de la fuerza centrífuga hasta la periferia, en donde el aire es conducido a un difusor para convertir la energía cinética en energía de presión, ver figura 14. La ventaja de estos compresores es la de poder mantener la presión constante al tenerse cargas variables.

- Compresores axiales

Estos compresores como su nombre lo indica, el flujo del gas se realiza en forma axial, siendo acelerado por una serie de paletas rotativas y estacionarias, colocadas alternadamente, ver figura 15.

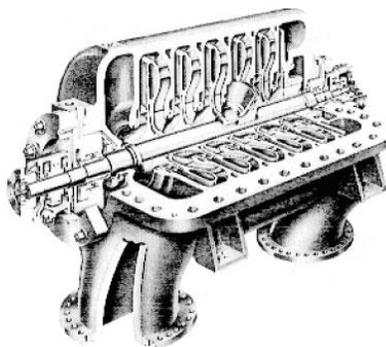
Las paletas rotativas le imprimen velocidad al gas y las estacionarias la convierten en presión, a la vez que se reencauzan la dirección del flujo a lo largo del eje. Se caracterizan por producir una entrega de flujo constante a presiones moderadas.

Figura 14. **Compresor centrifugo**



Fuente: <http://www.grupos.emagister.com>. Consulta: 25 mayo 2012.

Figura 15. **Compresor axial**



Fuente: <http://www.estrucpla.com.ar>. Consulta: 25 mayo 2012.

### **2.3.2. Válvulas**

Una válvula es un mecanismo utilizado para interrumpir o regular el flujo, o como un dispositivo para evitar sobrecargas de presión en los depósitos o en el compresor. Se clasifican en:

- Válvulas de abastecimiento
- Válvulas de seguridad

#### **2.3.2.1. Válvulas de abastecimiento**

Este tipo de válvulas son utilizadas para controlar el flujo de aire en las líneas de distribución del sistema de aire comprimido, habiendo comúnmente 3 tipos:

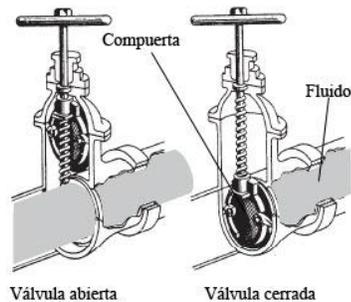
- Válvulas de compuerta
- Válvulas de globo
- Válvulas de diafragma

##### **2.3.2.1.1. Válvulas de compuerta**

Este tipo de válvula, regularmente se utiliza en donde se requiere de flujo completo y cuando la misma debe de permanecer continuamente abierta o cerrada, ver figura 16.

Consiste en un cuerpo dentro del que está colocado un disco en forma de cuña, que se acopla a un asiento en la misma forma. El disco es accionado por un tornillo para elevarlo o bajarlo según se abra o se cierre respectivamente.

Figura 16. **Válvula de compuerta**



Fuente: <http://www.sapiensman.com>. Consulta: 25 mayo 2012.

#### **2.3.2.1.2. Válvulas de globo**

Las válvulas de globo se emplean cuando se requiere de un estrangulamiento del flujo o en casos en los que se necesita abrir o cerrar el flujo con frecuencia, ver figura 17. Tienen la característica de que el asiento se encuentra directamente opuesto al orificio superior del cuerpo de la válvula.

#### **2.3.2.1.3. Válvulas de diafragma**

En las líneas de aire comprimido, se requiere que las válvulas presente la menor resistencia al flujo del aire para poder evitar pérdidas de presión y al cerrarse se obtenga hermeticidad para evitar cualquier fuga.

Las válvulas de diafragma cumplen con esta finalidad, por lo que su utilización en sistemas de aire comprimido es recomendada.

Consiste básicamente de un diafragma accionado por un tornillo y cuerpo. Al estar en posición abierta el diafragma aísla totalmente el cuerpo de la válvula, con lo que se evita cualquier contacto del aire con el mismo, con lo que se evitan las pérdidas de fricción, ver figura 18.

Al cerrarse proporciona un cierre hermético dado a las características flexibles del diafragma, aunque se interpongan partículas sólidas entre el diafragma y la base.

Figura 17. **Válvula de globo**



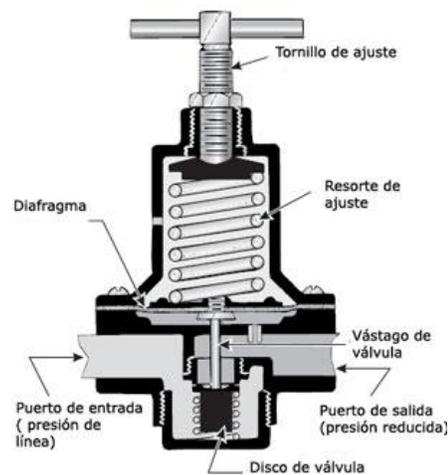
Fuente: <http://www.directindustry.es>. Consulta: 30 mayo 2012.

### **2.3.2.2. Válvula de seguridad**

Estas válvulas están diseñadas de tal forma que permiten el control de las sobrecargas de presión dentro del sistema de aire comprimido. Las válvulas de seguridad regularmente están instaladas en el depósito de aire. También son instaladas entre etapas en los compresores de etapas múltiples. Su funcionamiento está basado en la tensión de un resorte que presiona una válvula de cierre, ver figura 19.

Cuando la presión en el sistema sobre pasa la tensión del resorte, la válvula se abre, dejando escapar al aire hasta restablecer la presión del sistema. La tensión del resorte es graduada por un ajuste para la presión deseada.

Figura 18. **Válvulas de diafragma**



Fuente: <http://www.valvulasindustriales.com.pe>. Consulta: 3 junio 2012.

### 2.3.3. **Accesorios**

En toda instalación de tuberías se hace necesaria la utilización de diferentes accesorios, para poder adaptarla a las diferentes condiciones físicas del edificio o para hacer la toma hacia los diferentes puntos de servicio.

Los accesorios pueden ser suministrados para uniones roscadas o por medio de bridas.

Para los propósitos de este trabajo se considera únicamente las uniones roscadas, ya que la utilización de bridas se justifica para diámetros mayores de 4 pulgadas.

Los accesorios más utilizados en las líneas de distribución de aire son: codos, tées, reducidos, acoples entre los que se tienen uniones universales, uniones, niples, ve figura 20.

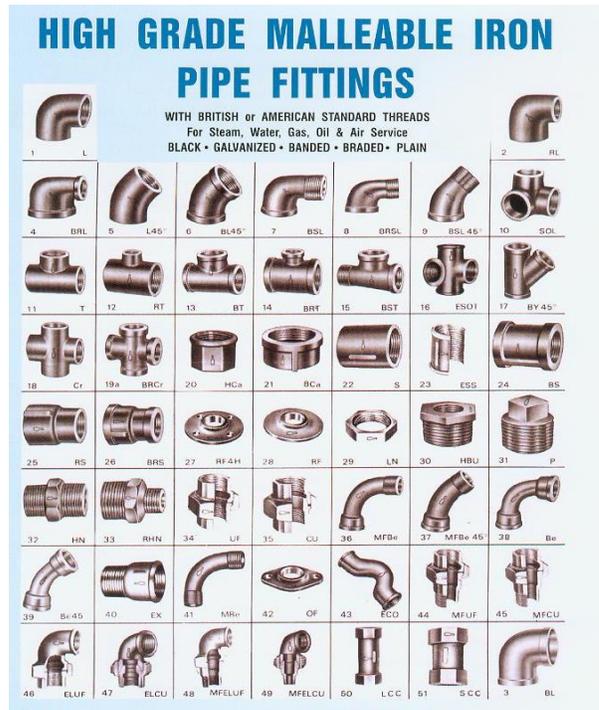
El material más utilizado en la construcción de los diferentes accesorios es el hierro galvanizado, aunque en algunos casos podemos encontrar también cobre. Es recomendado que los accesorios sean del mismo diámetro de la tubería y que los codos sean de curvatura grande, para evitar mayores pérdidas por fricción.

Figura 19. **Válvulas de seguridad**



Fuente: [http://: www.bvalves.com](http://www.bvalves.com). Consulta: 4 junio 2012.

Figura 20. **Accesorios**



Fuente: <http://www.simasa.com.mx>. Consulta: 4 junio 2012.

### 2.3.3.1. **Acoples rápidos**

En muchas instalaciones, en las que se requieren movilizar las herramientas continuamente a otros puntos de la planta o donde se utilizan diferentes herramientas en un mismo punto, se ha generalizado el uso de acoples rápidos, ya que la conexión y desconexión puede realizarse teniendo presión en la línea, pues cuenta con un dispositivo que cierra automáticamente el paso de aire al desconectar el equipo o manguera. Ver figura 21.

La conexión se realiza en forma simple, pues únicamente se introduce el macho o enchufe en la hembra o válvula ejerciendo una ligera presión sobre el enchufe. Para poder desconectarlo únicamente se jala el casquillo exterior de la válvula en el mismo sentido de extracción del enchufe.

Figura 21. **Acoples rápidos**



Fuente: <http://www-mnproductos.ar>. Consulta: 4 junio 2012.

### **2.3.3.2. Sellantes**

En accesorios y en los diferentes componentes auxiliares del sistema se aplican sellantes. A pesar de que la función principal de los sellantes es no permitir los escapes de aire en los la tubería roscada permite un buen sellado, se recomienda la utilización de un sellantes para garantizar la hermeticidad de las uniones.

El sellaste más utilizado y que presenta buenas condiciones para los propósitos de aire comprimido es el cáñamo impregnado en Minio. Otro tipo de sellante utilizado es la cinta plástica de teflón sin sintetizar.

Figura 22. **Sellantes**



Fuente: <http://www.loctite.com.mx>. Consulta: 4 junio 2012.

### **2.3.3.3. Filtros**

La función de los filtros es la de eliminar las impurezas que se presentan en el aire tales como: polvo, sólidos abrasivos y condensados. Para cubrir las necesidades de un sistema de aire comprimido, los filtros a utilizar son:

- Filtros de admisión
- Filtros separadores

#### **2.3.3.3.1. Filtros de admisión**

Para asegurar un buen funcionamiento del compresor, este debe estar provisto con un adecuado y eficiente filtro de admisión, evitando que las partículas de polvo y otros sólidos abrasivos presentes en el aire puedan mezclarse con el aceite lubricante y produzca un excesivo desgaste en las partes mecánicas.

Las condiciones básicas que debe reunir un filtro de admisión son:

- Alta capacidad para remover materiales abrasivos incluyendo partículas muy pequeñas.
- Buena capacidad de acumulación, sin una significativa disminución de la eficiencia del filtro y del flujo de aire.

Los filtros más utilizados en compresores de aire son:

- Filtros de papel
- Filtros de laberinto impregnados en aceite
- Filtros de fieltro
- Filtros de baño con aceite

La selección del tipo de filtro, se hace de acuerdo a las necesidades por ejemplo: en donde es necesario aire exento de aceite, se recomienda la utilización de papel o fieltro.

Figura 23. **Filtro de aire**



Fuente: <http://www.filtrosindustriales.com.cl>. Consulta: 8 junio 2012.

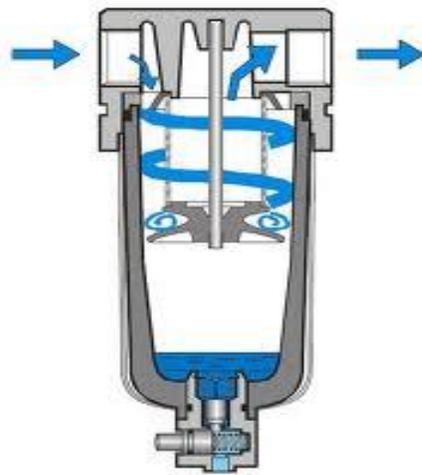
### **2.3.3.3.2. Filtros separadores**

En instalaciones en donde se tiene equipo o herramientas neumáticas, es indispensable la instalación de filtros – separadores en los puntos de distribución, ya que la presencia de aceite emulsionado proviene del compresor y este puede formar depósitos de una sustancia viscosa similar al barniz que daña las herramientas o equipos. Además puede tenerse la presencia de polvo o sustancias sólidas no detenidas en la admisión, las que pueden formar costras en las tuberías, creando así una mayor pérdida de presión o en el peor de los casos la obstrucción de la misma.

Tres factores importantes deben de observarse en los filtros-separadores:

- La eficiente remoción de líquidos y partículas sólidas.
- La necesidad de observar el estado de la línea y proveerla de un drenado y limpieza eficiente.
- El porcentaje de flujo debe considerarse antes de determinar el tamaño del tubo, ya que si el filtro es demasiado grande, la velocidad del aire será muy baja para poder lograr el funcionamiento óptimo. Si por el contrario es demasiado pequeño, se corre el riesgo de tener una alta caída de presión, debido a la restricción del flujo.

Figura 24. **Filtro separador**



Fuente: <http://www.industrial-automatica.blogspot.com>. Consulta: 12 junio 2012.

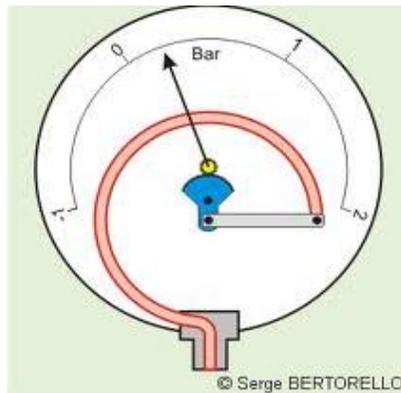
La capacidad del filtrado, depende de la rama de la industria dentro de la cual se esté utilizando el aire comprimido. La mayoría de las industrias, normalmente son utilizados filtros con capacidad de filtrado de hasta 5 micrones. Cuando los requerimientos de pureza son un tanto más críticos, se utilizan filtros de carbón activado y en la industria donde se requiere aire completamente estéril (industria farmacéutica o química) se utilizan filtros especiales que no permiten la producción o crecimiento de bacterias.

Para los diferentes sistemas se tienen filtros-separadores de drenado automático o manual; encontrándose con carcasas de plástico transparente o de metal. Para mejor control de líquido, se prefiere los de drenado manual sean de plástico transparente.

#### 2.3.3.4. Manómetro de Burdon

Todo sistema de aire comprimido, debe estar provisto de manómetros para el control visual de la presión. Generalmente los manómetros utilizados son de tipo resorte, los cuales dan la lectura de la presión por medio de una aguja sobre una escala graduada. Su funcionamiento consiste en un tubo metálico curvado, cerrado en extremo y por el otro conectado a la línea que se va a medir. Cuando la presión interna aumenta, el tubo tiende a enderezarse, accionando un eslabón que actúa directamente sobre la aguja.

Figura 25. Manómetro de Burdon



Fuente: <http://www.bertorello.com>. Consulta: 15 junio 2012.

### 2.3.3.5. Reguladores de presión

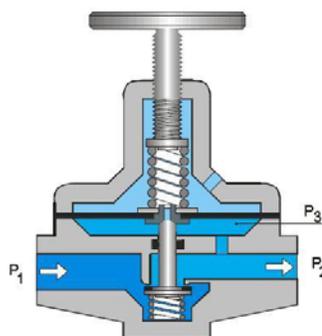
Para lograr el rendimiento óptimo de los equipos neumáticos, deben trabajarse a las presiones recomendadas por el fabricante.

Para poder proporcionar la presión deseada, se utilizan reguladores de presión que mantienen estables las condiciones del flujo aguas abajo, no importando que en la tubería principal se tengan fluctuaciones.

Los reguladores de presión están compuestos principalmente de un diafragma flexible, que controla una válvula por medio de una espiga y de un resorte que es presionado contra el diafragma por la acción de un tornillo regulador. Cuando el tornillo está completamente libre, no se aplica ninguna carga sobre el resorte y se cierra la válvula de paso, ver figura 26.

Al ir apretando el tornillo se va aplicando una carga sobre el resorte, la que es transmitida a la válvula por medio del diafragma, lo que permite la abertura de la misma.

Figura 26. Regulador de presión



Fuente: <http://www.industrial-automatca.blogspot.com>. Consulta: 15 de junio 2012.

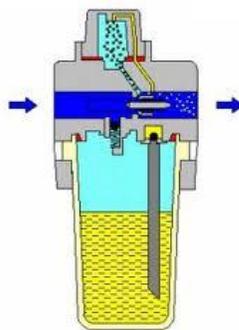
Al aumentar la presión regulada, aumenta también la presión contra el diafragma, forzándolo a comprimir el resorte hasta que la carga ejercida sea igual a la de la presión regulada, lográndose en esta forma la estabilidad del flujo. Dentro de las unidades disponibles en el mercado, se tienen reguladores con manómetro acoplado con o sin él, siendo los más utilizados los reguladores con manómetro acoplado, pues permite la determinación y la determinación de la presión deseada en forma más rápida.

### 2.3.3.6. Lubricadores

Muchos equipos y herramientas, atendiendo a condiciones de diseño, requieren de cierta lubricación, por lo que la utilización de lubricadores se hace necesario; contrariamente a la idea de que el aceite presente en la tubería proveniente del compresor es suficiente y adecuado para lubricarlos.

Este aceite debe drenarse antes del punto de utilización ya que debido a la temperatura y al emulsionamiento dentro del compresor pierde sus características lubricantes. Ver figura 27.

Figura 27. Lubricador



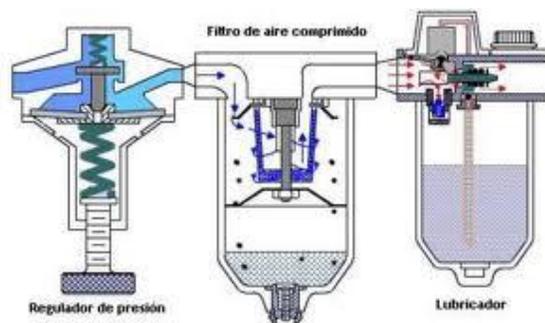
El funcionamiento del lubricador se basa en la igualdad de presiones dentro del depósito del lubricador y en la línea, debido a un orificio que tiene el tubo Venturi del lubricador. Esta presión eleva el aceite por un tubo de aspiración hasta una cámara colocada por encima del punto de goteo. A medida que el aceite va cayendo en el tubo de Venturi y entra a la corriente de aire, se pulveriza y forma una neblina de aceite que es transportada al punto de uso. La velocidad de la alimentación se regula por medio de un cuenta gotas, permitiendo así tener la alimentación apropiada según los requerimientos del equipo.

### 2.3.3.7. Unidades de mantenimiento

La unidad de mantenimiento representa una combinación de los siguientes elementos:

- Filtro de aire comprimido
- Regulador de presión
- Lubricador de aire comprimido

Figura 28. Unidad de mantenimiento



Fuente: <http://www.industrial-automatiza.blogspot.com>. Consulta: 15 junio 2012.

Debe tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- El caudal del aire en metros cúbicos por hora es decisivo para la elección del tamaño de la unidad. Si el caudal es demasiado grande, se produce en la unidad, una caída de presión demasiado grande. Por eso es imprescindible respetar los valores indicados por el fabricante.
- La presión de trabajo no debe sobrepasar el valor estipulado en la unidad, y la temperatura no deberá ser tampoco superior a 50 grados Celsius (valor máximo para recipientes de plástico).

#### **2.3.3.8. Purgadores**

Estos son utilizados para la evacuación del agua y de los condensados en general, que se producen en una instalación de aire comprimido, es conveniente proveerla de purgadores automáticos para una mejor garantizar su buen funcionamiento. En el mercado hay una gran diversidad de modelos y para poder elegir el idoneo se tiene que tomar en cuenta la finalidad que pueden cumplir, ver figura 29. Hay dos casos perfectamente singulares.

- Purgadores adecuados para eliminar condensados donde la mezcla sea agua-aceite y suciedad sean muy pastosas.
- Purgadores para una mezcla agua-aceite más suciedad sean más líquidas o bastante reducida.

Figura 29. **Purgador**



Fuente: <http://www.festo.com>. Consulta: 15 junio 2012.

### **2.3.3.9. Depósito de aire**

Toda instalación de aire comprimido debe de tener por lo menos un depósito de aire, no solo con el propósito de almacenamiento del mismo, sino para absorber las pulsaciones de la línea de descarga del compresor, dando un flujo permanente a la línea de distribución y permite la condensación de la humedad y del aceite, el cual es drenado posteriormente del depósito en forma manual o automática.

Los depósitos de aire generalmente están contruidos de lámina de acero con juntas soldadas bajo normas de control de calidad establecidas en los diferentes países. En Guatemala no se tiene ninguna regulación al respecto por lo que al requerirse un depósito, se aconseja recurrir a las normas establecidas en otros países para depósitos presurizados. Independiente de la capacidad de los depósitos pueden ser del tipo vertical u horizontal.

Normalmente los depósitos vienen provistos de una válvula de seguridad, manómetro, grafito o válvula de drenado.

Figura 30. **Depósito de aire**



Fuente: <http://www.directindustry.es>. Consulta: 15 de junio 2012.

#### **2.3.4. Elementos de conducción**

En los sistemas de aire comprimidos son elementos básicos para poder conducir el aire a distintas áreas, estas están elaboradas de distintos materiales para satisfacer las diferentes necesidades.

##### **2.3.4.1. Materiales de tuberías**

El material de las tuberías dependerá del uso y las condiciones donde estas se instalen por lo general se pueden utilizar varios tipos de materiales como por ejemplo: cobre, acero negro, latón, acero galvanizado, acero fino y PVC.

#### **2.3.4.2. Tuberías rígidas**

Estas son utilizadas en las líneas principales de conducción de aire, las tuberías más empleadas están construidas de acero o hierro galvanizado, dado a que tiene la ventaja de ser resistentes a la corrosión. También pueden utilizarse tuberías de cobre, aunque su utilización se ve limitada debido a su alto costo y la implementación de accesorios especiales, razón por la cual se prefiere la tubería galvanizada ya que esta permite la adaptación de accesorios con diversas propiedades maleables.

La tubería de acero o hierro negro, se justifica su utilización en instalaciones bastantes grandes, con diámetros de tubería superior a 4 pulgadas.

Figura 31. **Tubería galvanizada**

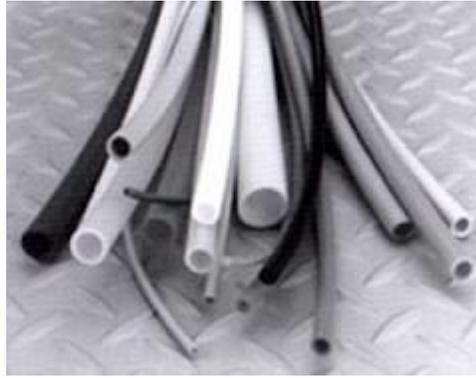


Fuente: <http://www.arqhys.com>. Consulta: 16 de junio 2012.

#### **2.3.4.3. Tuberías semirígidas**

Existe un estadio intermedio entre las tuberías rígidas y flexibles de las cuales existen las tuberías semirrígidas, estas admiten ciertas cargas externas sin sufrir deformación permanente por lo que se utilizan donde son expuestas a fuerzas externas. Ver figura 32.

Figura 32. **Tubería semirrígida**



Fuente: <http://www.directindustry.es>. Consulta: 16 junio de 2012.

#### **2.3.4.4. Tuberías flexibles**

Estas son conocidas comúnmente como mangueras la utilización de estas es común para el accionamiento de herramientas tanto en sistemas estacionarios como sistemas móviles.

Las mangueras básicamente están constituidas de un forro interior liso, resistente a la neblina de aceite, una capa intermedia resistente a la presión y de un forro externo flexible, que debe ser resistente a los solventes y a la abrasión. Los materiales más utilizados en la fabricación de mangueras son el hule resistente a los abrasivos y a los solventes, utilizado para mangueras en las que serán expuestas a trabajos rudos tal como: construcción y minería.

También se utilizan mangueras de plástico las cuales proporcionan un rendimiento similar a las de hule, aunque son más sensibles a los trabajos rudos. Ver figura 33.

Dentro de este tipo de mangueras, también hay en forma de espiral, las cuales se utilizan en situaciones en que la distancia es variable ya que se contraen y estiran de acuerdo a las necesidades, lo que permite una mejor movilidad de la herramienta o equipo.

Figura 33. **Manguera**



Fuente: <http://www.corporacionmisa.com>. Consulta: 20 junio 2012.

#### **2.3.4.5. Soportes de tuberías**

Estos son utilizados para poder sujetar las tuberías, y para poder evitar el movimiento lateral y axial de las mismas. Ver figura 34.

Figura 34. **Soporte de tubería**



Fuente: <http://www.galcosa.com>. Consulta: 20 junio 2012.

### **2.3.5. Enfriador de aire**

Para lograr la condensación de la mayor parte del vapor de agua presente en el aire antes de entrar a la línea principal de distribución, se hace necesario implementar enfriadores para lograr su recolección, disminuyendo en esta forma los gastos de mantenimiento debido a la corrosión no solo de la tubería sino también de los equipos y herramientas.

Los enfriadores de aire pueden ser de dos tipos:

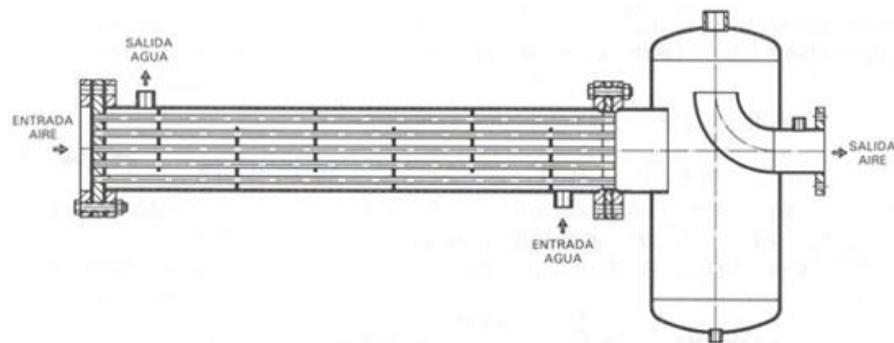
- Enfriadores por circulación de agua
- Enfriadores por circulación de aire

### 2.3.5.1. Enfriadores por circulación de agua

Básicamente consisten de un cárter de acero, dentro del cual está colocado un serpentín en el que circula aire por un lado y agua por el otro para lograr la transmisión de calor. Se prefiere que el flujo sea en sentido contrario para lograr la mayor transmisión de calor.

Para asegurar un enfriamiento adecuado de aire a través de un enfriador por circulación de agua se espera obtener una diferencia de temperatura entre el aire comprimido enfriado y el agua para enfriamiento de aproximadamente 10 grados Celsius.

Figura 35. **Enfriador por circulación de agua**



*Sección de un refrigerador posterior de agua, modelo horizontal, en cuyo interior se aprecia el haz tubular*

Fuente: <http://babestisrl.com.ar>. Consulta: 20 junio 2012.

### **2.3.5.2. Enfriador por circulación de aire**

Este tipo de enfriador consiste básicamente de un serpentín dentro del cual se hace pasar el aire comprimido, forzándole una corriente de aire frío por la parte externa utilizando un ventilador. La diferencia de temperatura esperada en los enfriadores de 15 grados Celsius.

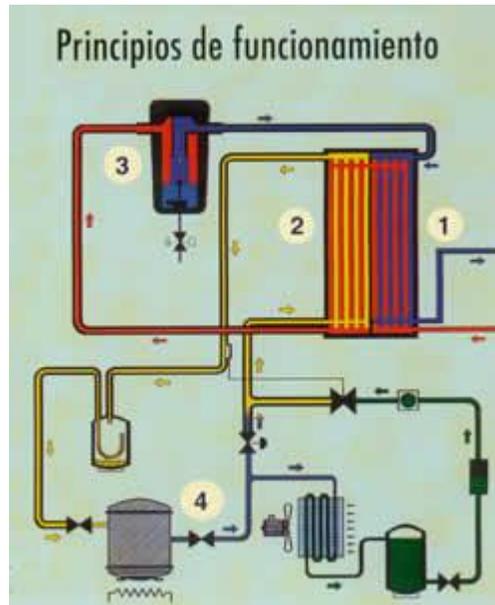
Al seleccionar un enfriador de aire debe considerarse la facilidad que tengan de realizar las labores de mantenimiento y la facilidad de reemplazar sus elementos tubulares. Normalmente los enfriadores de aire son equipos con una válvula de seguridad, manómetro y válvula de drenaje.

Paso 1: el aire comprimido saturado de humedad entra en el secador y es dirigido hacia el intercambiador (1), siendo enfriado por el aire que vuelve a la línea ya frío y seco. El intercambio de calor entre el aire entrada y de salida reduce la carga en el compresor de refrigeración (4) ahorrando así costos de energía.

Paso 2: el aire entrante pasa ahora al intercambiador de calor, donde el fluido refrigerante lo enfría 2 grados Celsius, la humedad se condensa y forma gotas de agua que son separadas del aire en el separador de condensado (3) y se recoge en un colector que automáticamente purga el sistema.

Luego ya teniendo aire frío y seco, vuelve al intercambiador (1), enfría al aire nuevo que entra, y sale ya a la línea de conducción de aire comprimido, terminando el ciclo de secado frigorífico. Ver figura 36.

Figura 36. **Enfriador por circulación de aire**



Fuente: <http://www.relacind.com.ar>. Consulta: 22 junio 2012.

### 2.3.6. **Secadores de aire**

Como puede observarse en los enfriadores de aire no se consigue enfriar completamente el aire, con lo que la presencia de condensados en las líneas de distribución no ha sido eliminada completamente haciendo necesario el uso de secadores de aire cuando los requerimientos de aire seco y limpio son requeridos.

El uso de secadores de aire ayuda a simplificar las líneas de distribución, eliminando la utilización de separadores y el cuidado de utilizar las tomas de la parte superior de la tubería.

Los principales tipos de secadores de aire son:

- Secador de aire refrigerado
- Secador por absorción química o desecante
- Secador por absorción química o deliquescente

### **2.3.6.1. Secadores de aire refrigerados**

Esta es una unidad mecánica compuesta por uno o más intercambiadores de calor que utilizan medios frigoríficos similares a los utilizados en los sistemas de refrigeración y acondicionamiento de aire.

Figura 37. **Secador de aire refrigerado**

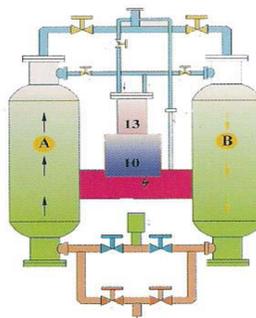


Fuente: <http://www.aireyork.com>. Consulta: 22 de junio 2012.

### 2.3.6.2. Secador por adsorción química o desecante

En esta unidad se utiliza un químico por ejemplo la Sílice o Alúmina activada, la cual se coloca dentro de una cámara vertical (torre) por lo que se hace pasar el aire comprimido. Se recomienda la utilización de torres gemelas para no parar el proceso mientras se efectúa la generación de una de las torres. Ver figura 38.

Figura 38. Secador por adsorción química

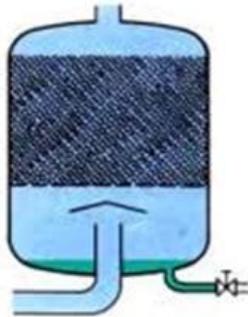


Fuente: <http://www.airecompresor.com>. Consulta: 22 de junio 2012.

### 2.3.6.3. Secador por absorción química o deliquescente

Este tipo de secador comúnmente se utiliza sal común dentro de un depósito por el que se hace pasar el aire comprimido. Al entrar en contacto el aire con la sal, la humedad reacciona con la sal formando una solución que es drenada en el fondo del depósito.

Figura 39. **Secador por absorción química**



Fuente: <http://www.dmdcompresores.com>. Consulta: 26 junio 2012.

## **2.4. Presión de trabajo y consumo de aire en herramientas neumáticas**

La presión de trabajo en las herramientas neumáticas es la presión en la cual las herramientas trabajan en óptimas condiciones y el consumo de aire depende del tipo de herramienta ya que algunas pueden consumir más o menos cantidad de aire para su funcionamiento.

### **2.4.1. Ficha técnica de herramientas neumáticas**

Esta contiene la descripción de los datos técnicos que ofrece cada una de las herramientas neumáticas como por ejemplo: consumo de aire, presión de trabajo, velocidad. Esta es utilizada para poder seleccionar la herramienta más adecuada.

- Taladro neumático: el taladro neumático de 3/8 de pulgada es una herramienta diseñada para taladrar, rectificar, escariar y perforar orificios, esta es una herramienta veloz y eficiente para perforar. Ver figura 41.

Este incluye un filtro protector en la toma de aire que previene la suciedad y partículas que puedan dañar la herramienta. Esta herramienta no está diseñada para su uso continuo sin interrupciones.

- **Atornillador neumático:** estas herramientas son utilizadas para los procesos de ensamblaje o desmontaje de tronillos de pala o tipo Philips. Tiene un sistema de clutch (no gira si no se ejerce presión) para mayor seguridad. Velocidad variable regulada desde el gatillo, con mango recubierto con material antideslizante. Puede generar una velocidad de 1800 revoluciones por minuto. Su campo aplicación puede ser en industria automotriz, metalmecánica y ensambladoras. Tiene la cualidad de cambiar de polaridad reversible para poder utilizarlo de desatornillador. Ver figura 40.

Figura 40. **Atornillador neumático**



Fuente: <http://www.industrialairtool.com>. Consulta: 2 julio 2012.

Figura 41. **Taladro neumático**



Fuente: <http://www.industrialairtool.com>. Consulta: 2 julio 2012.

- Pulidora neumática: esta es una herramienta de corte o de desbastado es utilizada para cortar o pulir piezas de metal. También es utilizada para acabados. Esta puede llegar a desempeñar una velocidad de 2 200 revoluciones por minuto, su peso aproximado es de 2,9 kilogramos y mide una longitud aproximada de 3 679 milímetros.

Figura 42. **Pulidora neumática**



Fuente: <http://www.industrialairtool.com>. Consulta: 2 julio 2012.

- Pistola para pintar: esta pistola de aire es utilizada para poder aplicar pintura, esmaltes, barnices, tintes, adhesivos, anticorrosivos ya sea con agua o disolventes en cualquier tipo de superficie. Su operación es por atomización en la superficie deseada.

Figura 43. **Pistola de aire para pintar**



Fuente: <http://www.btaairtools.com>. Consulta: 2 julio 2012.

- Llave de impacto: esta es una herramienta que es utilizada para poder apretar o aflojar cualquier tipo de tuerca, ya que esta se puede adaptar una copa de cualquier tamaño de tuerca. Es una herramienta muy potente y versátil ya que su mecanismo está diseñado para generar un rápido apriete en tuercas. Puede generar una velocidad de 1900 revoluciones por minuto y es utilizada en montajes externos.

Figura 44. **Llave de impacto**



Fuente: <http://www.industrialairtool.com>. Consulta: 2 julio 2012.

- Lijadora neumática: esta herramienta es utilizada para poder lijar y desbastar superficies rugosas, y poder dejar un acabado fino. Su funcionamiento se basa en el giro circular para un mejor desbastado. Pueden llegar a desarrollar una velocidad de 12 000 revoluciones por minuto, ver figura 45.

Figura 45. **Lijadora neumática**



Fuente: <http://www.pneumatig.com>. Consulta: 2 julio 2012.

- Bomba engrasadora: esta herramienta es utilizada para lubricar y engrasar partes móviles de cualquier máquina, tales como rodamientos y elementos que necesiten lubricación y engrase. Esta puede trabajar a alta y baja presión tiene una capacidad de 10 litros.

Figura 46. **Bomba engrasadora**



Fuente: <http://www.industrialairtool.com>. Consulta: 2 julio 2012.

- Remachadora: esta es una herramienta para fijar por medio de remaches uniones entre piezas que no sean desmontables, entre la unión de estas piezas debe de existir unos agujeros para alojar entre ellos el remache que es el medio de sujeción entre ambas piezas, esta puede generar una tracción de hasta 1 800 libras.

Figura 47. **Remachadora neumática**



Fuente: <http://www.industrialairtool.com>. Consulta: 2 julio 2012

## **2.4.2. Presión de trabajo de equipo neumático**

La presión de trabajo de las diferentes herramientas neumáticas es muy importante para el funcionamiento de las mismas, ya que este es uno de los parámetros que son necesarios para evitar fluctuaciones y caídas de presión.

### **2.4.2.1. Presión de trabajo**

Las herramientas neumáticas trabajan bajo determinada presión de las cual puede diferir dependiendo del tipo de herramienta.

### **2.4.2.2. Consumo de aire de equipo neumático**

Esta es la cantidad de aire que consume la herramienta para poder funcionar correctamente, esta dependerá del tipo de herramienta que esté conectada a la red de distribución de aire comprimido

#### **2.4.2.2.1. Consumo de aire**

El consumo de aire en las herramientas neumáticas, es la cantidad de aire que necesita cada herramienta para poder operar de una manera óptima.

Tabla I. **Presión de trabajo de herramientas neumáticas**

No	Herramienta neumática	Rango de presión de trabajo (Psi)
1	Montacargas	70-90
2	Pistola de aire	70-90
3	Carretilla Neumática	70-90
4	Taladros	70-90
5	Amoladora	70-90
6	Pulverizadora de pintura	70-90
7	Remachadora	70-90
8	Talladora	70-90
9	Lijadora	70-90
10	Cambiador de ruedas	70-90
11	Inflador de ruedas	70-90
12	Gato neumático	70-90
13	Martillo neumático	70-90
14	Martillo de arena	70-90
15	Destornilladores	70-90
16	Destornillador mediano	80-90
17	Enroscador	80-90
18	Fresas de mango	70-90
19	Botes de spray	70-90
20	Aspiradoras	100-120
21	Pistolas de arena	90
22	Pulidora	80-90
23	Llave de impacto	70-90
24	Bomba engrasadora	70-90
25	Pulidora orbital	70-90
26	Sierra Reciprocante	90

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Consumo de aire de equipo neumático

No	Herramienta neumática	Consumo de Aire Pies <sup>3</sup> /min (CFM)
1	Montacargas	2
2	Pistola de aire	5
3	Carretilla Neumática	10
4	Taladros	15-70
5	Amoladora	50
6	Pulverizadora de pintura	20
7	Remachadora	50-90
8	Talladora	10-15
9	Lijadora	50
10	Cambiador de ruedas	3
11	Inflador de ruedas	10
12	Gato neumático	2
13	Martillo neumático	30-40
14	Martillo de arena	25-40
15	Destornilladores	20-30
16	Destornillador mediano	5-10
17	Enroscador	5-10
18	Fresas de mango	20
19	Botes de spray	3
20	Aspiradoras	8
21	Pistolas de arena	10-200
22	Pulidora	45
23	Llave de impacto	25
24	Bomba engrasadora	5
25	Pulidora orbital	40
26	Sierra recíprocante	5.5

Fuente: elaboración propia.

## **2.5. Cálculos del diseño de la red de distribución de aire comprimido**

Los cálculos para el diseño de una red de aire comprimido es una de las partes medulares para el diseño, ya que si se elaboran bien estos cálculos se pueden tener un sistema eficiente y se podrá evitar futuros problemas.

### **2.5.1. Longitud de tubería**

Nuestra longitud de tubería abarcar desde el compresor, los puntos de toma de aire hasta el punto de toma más alejado es de una longitud aproximadamente de:

$$L= 60 \text{ mts} = 196,8 \text{ pies}$$

### **2.5.2. Cálculo de demanda de presión y caudal**

El caudal necesario en una instalación de aire comprimido se obtiene sumando los caudales que consume cada una de las herramientas neumáticas que se necesitan implementar en el taller de mantenimiento al igual que la presión.

De la tabla I, se obtiene la presión necesaria para el buen funcionamiento de los equipos por lo que se selecciona un rango de presión de 70psi – 90 psi el cual es el rango que utiliza la mayoría de los equipos.

De la tabla III, se obtiene el caudal total que demandan las herramientas neumáticas para su óptimo funcionamiento.

Tabla III. **Consumo de herramientas neumáticas**

<b>Cantidad</b>	<b>Herramienta o equipo neumático</b>	<b>Pies<sup>3</sup>/min CFM</b>	<b>Suma CFM</b>
2	Pulidoras	4,5	9
2	Taladros	4,0	8
1	Lijadora	5	5
1	Remachadora	5	5
2	Pistola de impacto	6	12
2	Desatornilladores	3	6
1	Sierra recíprocante	5,5	5,5
1	Bomba engrasadora	3	3
1	Pistola para pintar	5	5
		<b>Total</b>	<b>58.5 CFM</b>

Fuente: elaboración propia.

### **2.5.3. Pérdidas ocasionadas por accesorios**

En las instalaciones de conducción de aire comprimido están implementadas en su mayor parte por tuberías y accesorios tales como las válvulas y accesorios que cambian la dirección del fluido, dependiendo de las condiciones físicas del edificio. Es necesario un conocimiento de su resistencia al paso del fluido para poder determinar las características del flujo en un sistema de tuberías completo.

Las válvulas y accesorios en una línea de tubería de aire comprimido alteran la configuración del flujo, y producen una pérdida de presión. Los accesorios y acoplamientos para conexión que se utilizan en la instalación son tées, cruces, codos y reductores de diámetro al igual que válvulas las cuales pueden producir una caída de presión en una instalación de aire comprimido.

Tabla IV. Longitud equivalente de accesorios y válvulas

Tipo de Accesorio	Tamaño Nominal de la Tubería								
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
Codo Recto	0.85	1.2	1.6	2.2	2.5	3.5	4.5	6	8.4
Curvatura R=d	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.5
Curvatura R=2d	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.8
Codo en U	1.5	2	2.5	3.5	4	5.5	6.5	8.5	12
Codo curvatura (larga)	0.5	0.6	0.8	1.1	1.5	2	2.5	3	4
Tee	0.4	0.6	0.8	1.1	1.3	1.7	2.2	2.8	4
Reducción	0.2	0.35	0.5	0.6	0.7	0.1	1.6	2	2.5
Válvula de Asiento	0 - 2								
Válvula de Diafragma	0.5	0.8	1.2	1.6	2	3	3.8	4.5	6
Válvula de Compuerta	0.35	0.45	0.6	0.9	1	1.3	1.6	2.1	3
Valvula de Globo	2.5	3.5	4.5	6.5	8	11	13	17	24

Fuente: elaboración propia.

#### 2.5.4. Diámetro de tubería

En el diseño de una instalación de tuberías para aire comprimido, el cálculo del diámetro más conveniente para el sistema es una parte muy importante de todo el proyecto. Por lo tanto, los datos necesarios para hacer el cálculo del diámetro de la tubería a utilizar son:

- El consumo total(caudal) de todas las herramientas neumáticas
- La longitud de la tubería recta hasta el punto más lejano
- El rango de presión de las herramientas neumáticas
- La longitud equivalente de los accesorio y válvulas en el circuito

Pasos a seguir para el cálculo del diámetro:

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{\text{factor} * \text{longitud}}{R * 1000}$$

Dónde:

Pérdida de presión = psi

Longitud = pies

Presión = psi

$$\text{Relación de compresión} = R = \frac{P + 14.7}{14.7}$$

Para ayeear el factor F con el caudal y el diámetro en la tabla V.

Tabla V. **Factores de pérdidas de presión por fricción en tuberías**

Caudal (cfm)	Factores debido a la fricción de tuberías								
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
5	12,70	1,20	0,50						
10	50,70	7,80	2,20	0,50					
15	114,00	17,60	4,90	1,10					
20	202,00	30,40	9,40	2,00	0,90				
30	456,00	70,40	19,60	4,50	2,00				
40	811,00	125,30	34,80	8,10	3,60				
50		196,00	54,40	12,60	5,60	1,50			
60		282,00	78,30	18,20	8,00	2,20			
70		385,00	106,60	24,70	10,90	2,90	1,10		
80		503,00	139,20	32,20	14,30	3,80	1,50		
90		646,00	176,20	40,90	18,10	4,80	1,90		
100		785,00	217,40	50,50	22,30	6,00	2,30		
200			870,00	202,00	89,40	23,90	9,30	2,90	
400						94,70	37,10	11,70	2,70

Fuente: elaboración propia.

## **2.5.5. Cálculo para el taller de mantenimiento**

Para hacer los cálculos en esta área servirán de apoyo los datos de la tabla IV.

### **2.5.5.1. Cálculo para futuras aplicaciones**

58.5 cfm + 25 % futuras ampliaciones

$$58.5 \text{ cfm} + 14.63 \text{ cfm} = 73.13 \text{ cfm}$$

Para obtener el diámetro de tubería se obtiene por tanteo para una pérdida de presión del 5 por ciento.

### **2.5.5.2. Cálculo del diámetro de la tubería**

El cálculo del diámetro de la tubería es primordial ya que el buen dimensionamiento nos evitara perdidas por fricción en las tuberías, así como fallas en el sistema.

#### **2.5.5.2.1. Cálculo para tubería de $\frac{3}{4}$ de diámetro**

La longitud total de accesorios es 42,9 metros que equivalen a 140,71 pies

La longitud de la tubería es de L= 196,8 pies desde el generador hasta el punto más largo de tubería. Longitud total de la tubería recta es 196,8 pies + 140,71 pies = 337,51 pies

La presión permisible en las herramientas neumáticas a implementar mínima y máxima de la tabla I es de: 70 psi - 90 psi

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{\text{factor} * \text{longitud}}{R * 1000}$$

La relación de compresión, se toma la de menor relación

$$R_1 = \frac{90 + 14.7}{14.7} = 7,12 \qquad R_2 = \frac{70 + 14.7}{14.7} = 5,76$$

Para encontrar el factor para la pérdida de presión por fricción de tuberías, por medio de interpolación en la tabla V con un diámetro de  $\frac{3}{4}$  de pulgada y un caudal de 73,13 pies cúbicos por minuto.

Tabla VI. **Longitud equivalente en accesorios de  $\frac{3}{4}$  de pulgada**

Accesorios	Le	Cantidad	Sub Total
Codos largos	0,60	8	4,80
Codos 90 <sup>0</sup>	1,20	10	12,0
Válvulas de Compuerta	0,45	10	4,50
Tee	0,60	8	4,80
Reductores	0,35	8	2,80
Codos en U	2,00	7	14,00
Total		51	49,90

Fuente: elaboración propia

Interpolando:

Tabla VII. **Primera interpolación**

<b>Cfm</b>	<b>Factor para 3/4"</b>
70	385
73,13	X
80	503

Fuente: elaboración propia

Donde X = el factor a encontrar

$$\frac{70 - 73,13}{70 - 80} = \frac{385 - X}{385 - 503}$$

$$X = 421,93$$

$$\text{Cálculo de pérdida de presión} = \frac{421,93 * 337}{5,76 * 1000} = 24,73 \text{ psi}$$

Equivalencia en %

$$= \frac{24,73}{70} = 0,353 * 100 = 35,3 \%$$

El 35,3 % > 5 % por lo que no es viable tiene que ser ≤ 5 %

Tabla VIII. **Longitud equivalente en accesorios de una pulgada de diámetro**

<b>Accesorios</b>	<b>Le</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Sub total</b>
Codos largos	0,8	8	6,4
Codos 90 <sup>0</sup>	1,6	10	16,0
Válvulas de Compuerta	0,6	10	6,0
Tee	0,8	8	6,4
Reductores	0,5	8	4,0
Codos en U	2,5	7	17,5
		<b>Total</b>	<b>56,3</b>

Fuente: elaboración propia.

La longitud total de accesorios es igual a 56,3 metros equivalentes a 184,66 pies

Longitud total = 184,66 + 196,8 = 381,46 pies

Para encontrar el factor para la pérdida de presión por fricción de tuberías, por medio de interpolación en la tabla V con un diámetro de 1 pulgada y un caudal de 73,13 pies cúbicos por minuto.

Tabla IX. **Segunda interpolación**

<b>Cfm</b>	<b>Factor para 1"</b>
70	24,7
73,13	X
80	32,2

Fuente: elaboración propia.

Donde X es el factor a encontrar

$$\frac{70 - 73,13}{70 - 80} = \frac{24,7 - X}{24,7 - 32,2}$$

$$X = 27,04$$

$$\text{Cálculo de pérdida de presión} = \frac{27,04 * 381,46}{5,76 * 1000} = 1,7907 \text{ psi}$$

Equivalencia en porcentaje

$$= \frac{1,79}{70} = 0,025571 * 100 = 2,55 \%$$

### **2.5.6. Pérdida de presión por fricción en tuberías**

En este caso la pérdida de presión por fricción en la tubería es de 2,55 por ciento con la tubería de 1 pulgada de diámetro.

El 2,55 % < 5 % este resultado es viable por qué es ≤ 5 %

Nuestro resultado cumple satisfactoriamente las condiciones necesarias para que nuestras herramientas neumáticas puedan trabajar eficientemente ya que el rango admisible tiene que estar entre 0 por ciento y el 5 por ciento.

### 2.5.7. Dimensionamiento del depósito

La determinación del tamaño del depósito depende del volumen de aire requerido por operación y de la caída de presión permitida dentro del rango de operación del equipo.

$$\text{Capacidad del depósito (pies}^3\text{)} = \frac{\text{Demanda por operación (pies}^3\text{)} \times 14,7}{\text{Pérdida de presión en el depósito (psi)}}$$

En este caso la demanda de operación será de aproximadamente 185 pies cúbicos por la operación de las herramientas neumáticas, el equipo opera en un rango de 70 – 90 psi. Se procede al cálculo para obtener el tamaño del depósito.

En vista que el rango de presión del equipo permite un margen de 20 psi de caída de presión dentro del depósito, para mayor seguridad se tendrá una caída de presión dentro del depósito en un rango de 18 psi. Entonces se tiene que:

$$\text{Capacidad del depósito} = \frac{80 \times 14,7}{18} = 62,22 \text{ pies}^3 = 400 \text{ gal}$$

### 2.5.8. Dimensionamiento del compresor

Para seleccionar el compresor se consultan los catálogos de los fabricantes para determinar cuál es el compresor adecuado para el diseño del sistema.

Tabla X. **Ficha técnica del compresor**

<b>Compresor de 3 etapas</b>		
<b>CAUDAL</b>	<b>PRESIÓN DE TRABAJO</b>	<b>POTENCIA</b>
2,264 L/ min	10 bar	20 hp
90 cfm	145 psi	15 kw

Fuente: elaboración propia.

En este caso este compresor es el adecuado, ya que llena los requisitos para tener una excelente eficiencia en los equipos neumáticos.

## **2.6. Presupuesto del proyecto**

Este es el cálculo y negociación anticipados de los gastos al realizar cualquier proyecto, este ayudara a tener un mejor control en los gastos y evitar que se tengan perdidas al finalizar este.

### **2.6.1. Tiempo aproximado de instalación**

El tiempo aproximado o estimado para poder realizar este proyecto de instalación de aire comprimido se calcula en base a la siguiente programación.

Tabla XI. **Programación de tiempo y actividades desarrolladas en el proyecto**

<b>Tiempo</b>	<b>Actividad</b>
Semana 1	Autorización, orden de trabajo, contratación del personal, compra y recepción de materiales, ubicación del compresor en su lugar
Semana 2	Iniciar con el armado de tuberías por los tramos más largos, medir los tramos a partir del compresor, realizar cortes y roscados de tuberías
Semana 3	Colocación de los soportes, instalación de la tubería aérea, codos tees y cualquier otro accesorio necesario
Semana 4	Colocación de las válvulas de compuerta, los manómetros y las unidades de mantenimiento en cada toma de aire
Semana 5	Revisión minuciosa de cada parte de la instalación y puesta a prueba con tosas las llaves de interrupción cerradas para la revisión de posibles fugas. Corrección de cualquier anomalía en el sistema
Semana 6	Puesta a prueba y revisión de presiones de trabajo de las herramientas neumáticas, identificación por colores de la tubería y entrega del proyecto a la <b>Hidroeléctrica Santa Teresa</b>

Fuente: elaboración propia.

### **2.6.2. Costo de los materiales**

Los precios cotizados para este proyecto fueron proporcionados por una empresa que se dedica al comercio de materias hierro galvanizado, estos no incluyen los recargos de transporte hasta el lugar de instalación ni el porcentaje de variación de precios en el mercado nacional.

Tabla XII. **Cotizacion de materiales**

<b>Materiales</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Precio (Q)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total(Q)</b>
Tubo galvanizado	1"	260,00	20	5 200,00
Tubo galvanizado	¾"	195,00	2	390,00
Codo de 90 <sup>0</sup>	1"	14,75	20	290,00
Tee	1"	22,25	12	267,00
Uniones universales	1"	28,75	28	805,00
Válvula de compuerta	1"	74,50	8	596,00
Reducidor	1" a ¾"	18,75	8	150,00
Soportes de tuberías	1"	11,65	60	699,00
Manómetro con glicerina	¾"	375,00	4	1 500,00
Unidad de mantenimiento	¾"	1 275,50	6	7 650,00
Compresor		32 500,00	1	32 500,00
Depósito de aire		16 500,00	1	16 500,00
<b>Costo total de materiales</b>				<b>66 547,00</b>

Fuente: elaboración propia.

### **2.6.3. Mano de obra**

De acuerdo con el tiempo estimado de instalacion podemos calcular la mano de obra, para lograr en ese tiempo la ejecucion del proyecto necesitamos por lo menos la siguiente planilla de personal que trabaje por lo menos ocho horas diarias.

Tabla XIII. **Presupuesto de personal**

<b>Personal</b>	<b>Salario</b>
Ingeniero mecánico	Q 12 500,00
Técnico mecánico industrial	Q 5 000,00
Técnico soldador	Q 4 500,00
Ayudante	Q 2 500,00
Total	Q 24 500,00

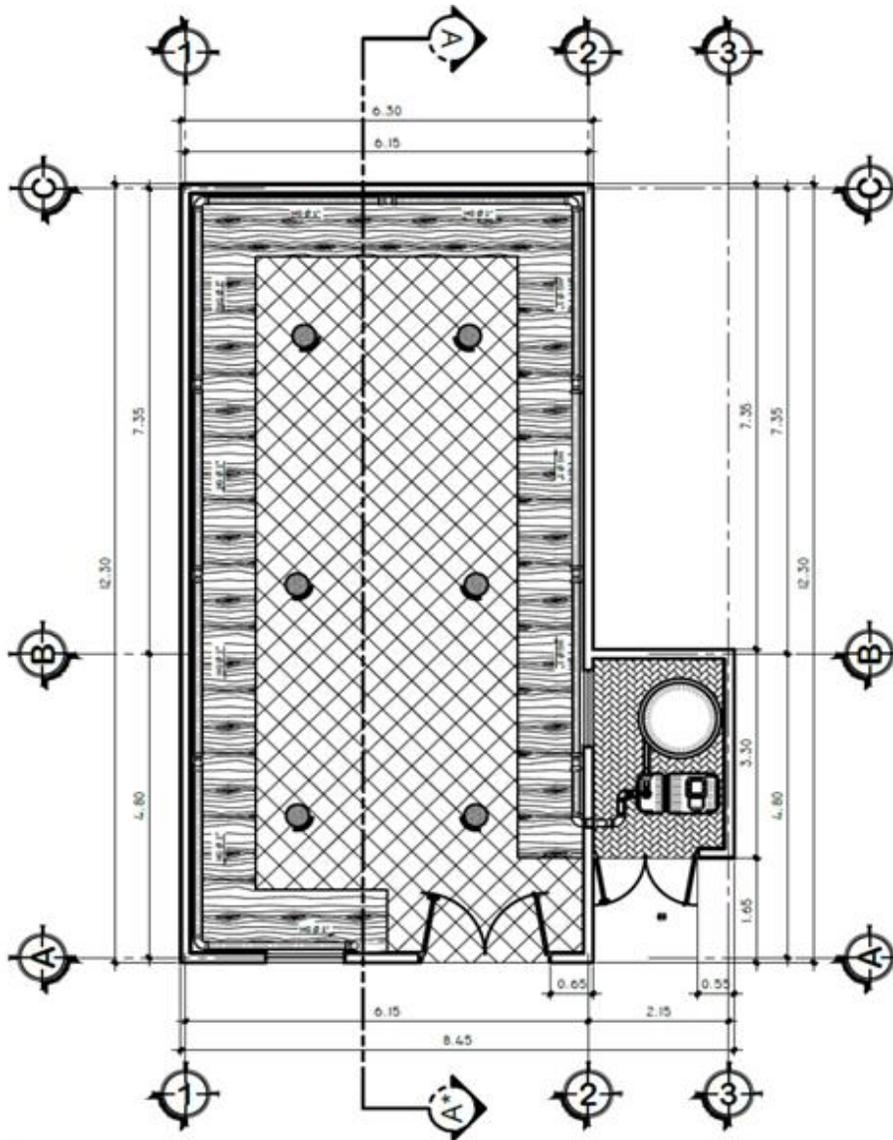
Fuente: elaboracion propia.

El costo aproximado para poder realizar este proyecto seria de 91 047,00 quetzales, este precio podria reducirce haciendo unos ajustes en el presupuesto siempre y cuando se respeten las especificaciones de los materiales.

#### **2.6.4. Plano de red de aire comprimido**

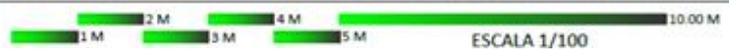
Este es el plano de la red de aire comprimido, con este se puede ilustrar de una mejor manera como quedaría instalada la red de aire comprimido, y también puede ser utilizada como guía a la hora de instalar esta red.

Figura 48. **Planta del taller de mantenimiento**



PLATA TALLER DE MANTENIMIENTO HIDROELÉCTRICA "SANTA TERESA"

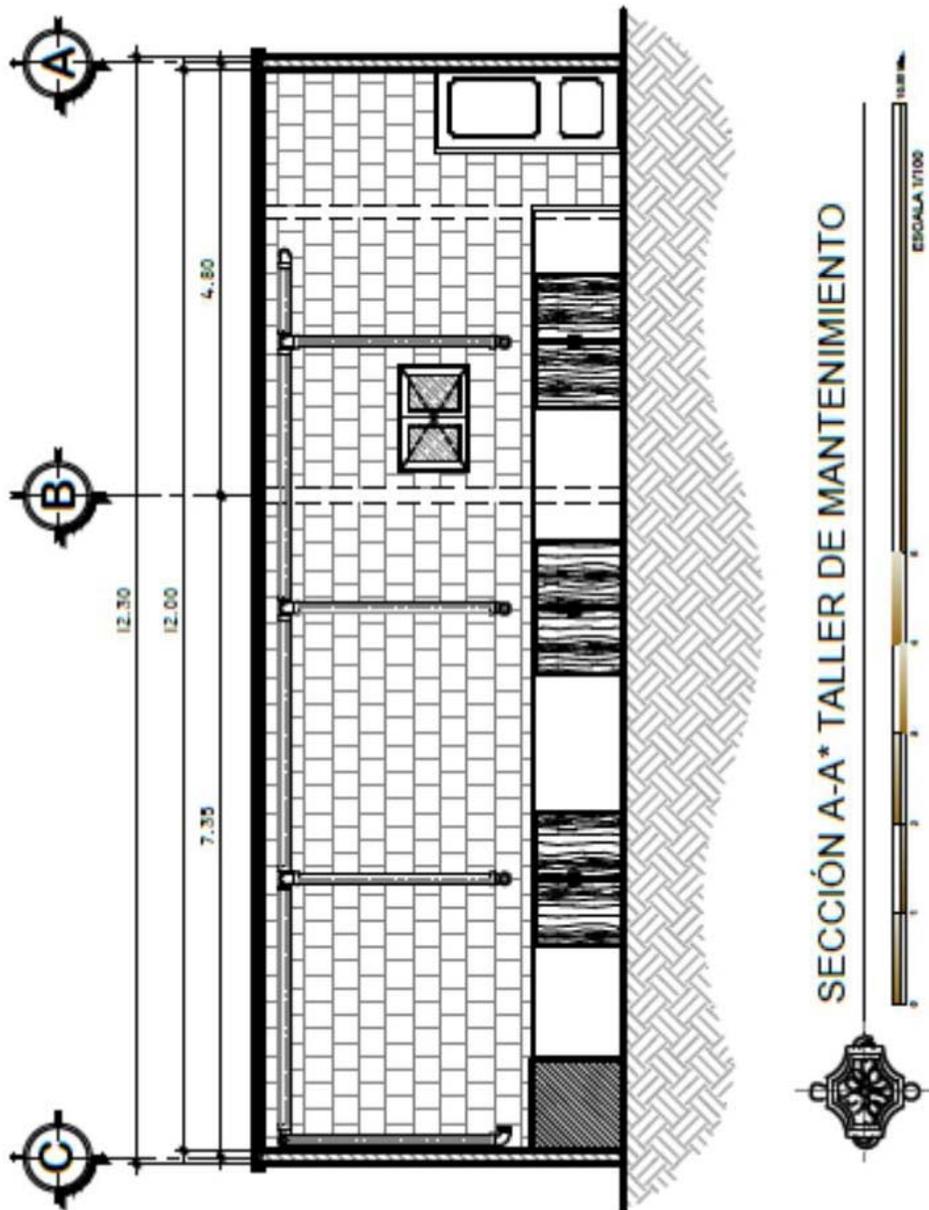
Escala Gráfica



ESCALA 1/100

Fuente: HERNANDEZ, Omar. Departamento de diseño de planos hidroeléctrica El Cobano.

Figura 49. Sección de taller de mantenimiento



Fuente: HERNANDEZ, Omar. Departamento de diseño de planos hidroeléctrica El Cobano.

### **3. FASE SERVICIO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Ahorro energético**

El ahorrar energía es una de las maneras más eficaces para contribuir a la reducción de emisiones de gases contaminantes como es el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) a la atmosfera, ya que con esto se podrá ayudar a detener el calentamiento global del planeta y el cambio climático. Ya que este es el camino más sencillo y rápido para poder lograrlo. Por cada kilovatio / hora de electricidad que se ahorra se podrá evitar que se emanen aproximadamente un kilogramo de CO<sub>2</sub> en las plantas de generación de electricidad por medio de la quema de bunker o carbón.

Cualquier manera de ahorrar energía trae consigo ciertas ventajas adicionales para el medio ambiente, pues con estas medidas de ahorro se podrá evitar; la contaminación del aire, contaminación de lagos y ríos, talas de árboles y residuos radioactivos.

El ahorro energético también repercute en los bolsillos ya que el precio de cada kilovatio-hora le cuesta al consumidor un aproximado mayor de dos quetzales actualmente, de tal forma el cambio de los hábitos o cambiar a otros aparatos que consuman menos energía representa un ahorro de dinero.

En algunos casos el costo de aparatos ahorradores de energía puedan ser elevados esta inversión se recuperara a largo plazo pero luego estará viendo el ahorro en la factura de energía eléctrica.

Una de las acciones que se tienen que tomar para poder ahorrar energía es no despilfarrar la energía, haciendo pequeños cambios que darán grandes resultados, como el cambio de aparatos que consuman menor energía, el cambio de luminarias a luminarias más eficientes, o tener una legislación que controle el consumo inconsciente energético.

### **3.2. Análisis sobre cambio de tipo de luminarias**

Una buena opción en el ahorro energético es el cambio de luminarias más eficientes que transformen la mayor parte de la energía en luz y no se desperdicie en calor como muchas luminarias

Tenemos que hacer un recorrido por toda la planta para poder determinar qué tipo de luminarias están instaladas para poder realizar un buen análisis y tomar una decisión sobre si es eficiente o hay que hacer algunos cambios.

Ya que algunas luminarias pueden estar consumiendo demasiada energía y estas no pueden ser tan eficientes como otras. Por lo que se optara por la opción que sea más eficiente y vial. Se encontraran una diversidad de luminarias las cuales se describen a continuación.

- Lámpara incandescente. Luz cálida y amarillenta / rojiza especial para áreas de reunión, donde la luz intensa no es esencial. Es especial para iluminación general, eficiencia luminosa es baja (flujo luminoso en lm / watts.) genera menor iluminación (costo watt por lúmenes por quetzal). El tiempo promedio de vida de estos sistemas es de 1 000 horas.

- Lámpara incandescente reflectora. Luz cálida y amarillenta concentrada en un haz, especial para áreas de exhibición. Es especial para iluminación de acentuación o para alumbrado general diferenciado. Al concentrar más la iluminación se hace algo más económica. La eficiencia luminosa es baja (flujo luminoso en lm/ watts.) genera menor iluminación (costo watt por lúmenes por quetzal). El tiempo de vida de estos sistemas es de 1 000 horas.
- Lámpara halógena dicroica. Luz intensa y brillante, destaca los objetos y colores; su uso es especial para destacar un ambiente y hacerlo más atractivo, destacar objetos o realizar tareas que requieran buen nivel de iluminación. También genera conos de iluminación y por lo tanto sombras. En algunos casos necesita transformador (12 voltios y 120 voltios). El tiempo promedio de vida de estos sistemas es de 4 000 horas.
- Lámpara halógena. En los sistemas actuales, lleva la misma ampolla que la lámpara dicroica, pero sin su casquete, da luz intensa y brillante, destaca los objetos y colores. Es especial para destacar un sector de ambiente. Se vende en dos modelos; con y sin transformador. El tiempo de vida promedio de estos sistemas es de 2 000 horas.
- Lámpara halógena eficiente. Es exactamente igual a un foco incandescente, con el mismo sistema de la lámpara halógena actualmente en el mercado, pero tiene un ahorro de energía del 30 por ciento. En este sistema de iluminación es el que en un primer plano, reemplaza a la lámpara incandescente

- Lámpara de cuarzo y halógena lineales. Luz potente especial para lugares donde se requiera gran nivel de iluminación y también para iluminación complementaria con regulador de intensidad. Es muy utilizada para artefactos tipo reflectores. Su color es algo amarillento (temperatura color 2 800 kelvin), por la gran temperatura que irradia suele provocar oscurecimiento en las paredes si se utiliza artefactos de pared. El tiempo de vida de estos sistemas es de 2 000 horas.
- Lámpara fluorescente. Produce una luz intensa, uniforme y eficiente, ideal cuando se necesita buen nivel de iluminación durante mucho tiempo ya que es de los tipos de iluminación más económica. Necesita balastro y arrancador o balastro electrónico. El tiempo de vida de estos sistemas es de 7 500 horas.
- Lámpara fluorescente compacta. Es el mismo tipo de luz que los tubos fluorescentes, pero con la diferencia que pueden ser colocados en cualquier artefacto para lámpara incandescente ya que tienen balastro electrónico incorporado. Ideal cuando se necesita buen nivel de iluminación durante mucho tiempo ya que es de los tipos de iluminación más económica. El tiempo de vida de estos sistemas es de 6 000 a 10 000 horas, dependiendo de la tecnología.
- Lámparas de mercurio halogenado o de descarga. Emite una luz potente y brillante que resalta los colores y los objetos, es ideal para elevados niveles de iluminación y para destacar zonas u objetos. Se utiliza especialmente en la iluminación de comercios, iluminación institucional o incluso para monumentos, fachadas, y alguna otra.

Normalmente necesita equipo auxiliar o de arranque. El tiempo de vida de estos sistemas es de 10 000 horas normalmente está disponible en 220 voltios.

- Lámpara led. Emite una luz potente y brillante, esta puede aplicarse en iluminación general esta pueden ahorrar hasta un 80 % de energía, tiene un color blanco cálido (2 700 kelvin). Tiene una alta eficiencia energética al compararse con lámparas incandescentes comunes, tiene una vida útil promedio mayor a 25 000 horas

### **3.3. Aprovechamiento de la luz natural**

Una de las medidas a utilizar para ahorrar energía es el aprovechamiento de la luz solar, ya que esta no tiene ningún costo económico y no contamina el medio ambiente y en algunos casos es muy eficiente.

Por lo que se analizará toda la planta para observar en qué áreas se puede implementar el uso de la luz natural, ya que esta depende del horario u posición en la que se encuentre.

El aprovechamiento de la luz natural la podemos implementar colocando láminas traslucidas o teniendo ventanas en los lugares de trabajo y con esto ayudar a que se utilicen luminarias de menos consumos de watts.

### **3.4. Lúmenes utilizados en luminarias**

El análisis de lúmenes que utilizan las luminarias es una buena técnica para poder ahorrar energía ya que en muchos casos las luminarias están sobre dimensionadas y se estará desperdiciando energía por medio de watts que consumen nuestras luminarias.

En la siguiente tabla se puede observar una serie de luminarias con su respectiva equivalencia en watts y lúmenes, para hacer una comparación entre las luminarias, para poder decidir cuál es la más conveniente a utilizar.

Figura 50. **Equivalencias de consumo de luminarias**

Iluminación interior						
<b>1W</b>	10W	-	-	-	-	50-80
<b>3W</b>	20W	-	-	-	-	120-180
<b>5W</b>	35W	-	-	-	-	210-280
<b>7W</b>	50W	-	-	-	-	280-320
<b>10W</b>	80W	20W	20W	-	-	550
<b>12W</b>	100W	24W	24W	-	-	650-750
<b>15W</b>	120W	30W	30W	-	-	700
<b>20W</b>	150W	40W	40W	-	-	950
<b>60W</b>	400W	120W	120W	100W	300W	3000-3400
<b>80W</b>	450W	160W	160W	120W	380W	3800
<b>90W</b>	550W	180W	180W	150W	450W	4500-5100
<b>120W</b>	750W	240W	240W	200W	600W	6000-6800
<b>150W</b>	900W	300W	300W	250W	750W	7500-8500
<b>160W</b>	950W	320W	320W	250W	750W	7600
<b>50W</b>	400W	120W	120W	100W	300W	3200 (Max)
<b>75W</b>	550W	180W	180W	150W	450W	4800 (Max)
<b>100W</b>	750W	240W	240W	200W	600W	6400 (Max)
Iluminación exterior						
<b>60W</b>	400W	120W	120W	100W	300W	3000-3400
<b>80W</b>	450W	160W	160W	120W	380W	3800
<b>90W</b>	550W	180W	180W	150W	450W	4500-5100
<b>120W</b>	750W	240W	240W	200W	600W	6000-6800
<b>150W</b>	900W	300W	300W	250W	750W	7500-8500
<b>160W</b>	950W	320W	320W	250W	750W	7600
<b>60W</b>	400W	120W	120W	100W	300W	3000-3400
<b>80W</b>	450W	160W	160W	120W	380W	3800
<b>90W</b>	550W	180W	180W	150W	450W	4500-5100
<b>120W</b>	750W	240W	240W	200W	600W	6000-6800
<b>150W</b>	900W	300W	300W	250W	750W	7500-8500
<b>160W</b>	950W	320W	320W	250W	750W	7600
<b>50W</b>	400W	-	-	-	-	-
<b>75W</b>	550W	180W	180W	150W	450W	4800 (Max)
<b>100W</b>	750W	240W	240W	200W	600W	6400 (Max)

Fuente: <http://www.ledbox.com>. Consulta: 25 julio del 2012.

### **3.4.1. Consideraciones**

El rendimiento práctico de una lámpara depende en gran medida del tipo de luminaria en que se instala. Una reflectora ofrece mayor porcentaje de luz útil que un plafón con bombilla ya que en el último, una parte de la luz se pierde dentro de la propia luminaria.

El tono de color también determina el rendimiento luminoso de una lámpara. Cuanto más blanca la luz, mayor cantidad de lúmenes se obtienen pero esto puede afectar también al ambiente que crea esta luz.

En las consideraciones económicas a la hora de elegir una fuente de luz LED es importante contabilizar el coste total de propiedad, incluyendo los correspondientes consumos y coste de los diferentes elementos que intervienen. Por ejemplo, una luminaria con lámpara de vapor de sodio o tubos fluorescentes debe añadir balastos electrónicos y cebadores que incrementan el consumo y costes respecto de las lámparas LED que no necesitan estos elementos.

### **3.4.2. Análisis sobre el consumo de potencia en aparatos electrónicos**

Los aparatos eléctricos son uno de los mayores consumidores que colaboran en el gasto energético por lo que la elección de los mismos es de mucha importancia para establecer un eficiente ahorro energético.

Ya que en la actualidad hay una gran cantidad de aparatos eléctricos que tienen consumos energéticos fantasmas, los cuales son que consumen aquellos aparatos que estando apagados siguen consumiendo energía por lo que esto repercute en la incrementación del consumo energético.

Figura 51. Consumo de aparatos electrónicos



Fuente: [www.ecologíaverde.com](http://www.ecologíaverde.com). Consulta: 26 julio 2012.

### 3.5. Diagnóstico

Este es un estudio previo a toda planificación o proyecto que consiste en la recopilación de información, su ordenamiento, su interpretación de conclusiones e hipótesis. Consiste en analizar un sistema y comprender, su funcionamiento de tal manera de poder proponer cambios en el mismo y cuyos resultados sean previsibles.

### **3.5.1. Iluminación**

En ciertas áreas de la planta el alumbrado es innecesario su uso, ya que hay áreas donde no se necesita demasiada iluminación, por otro lado hay luminarias donde se sobre dimensiono la cantidad de lúmenes necesarios para realizar determinadas actividades por lo que es necesario hacer una readecuación de la iluminación para poder realizar un ahorro de energético.

### **3.5.2. Aparatos eléctricos**

En la planta se utilizan una gran diversidad de aparatos eléctricos por lo que el buen uso de ellos conlleva a poder realizar un buen ahorro. Ya que esta cuenta con aparatos eléctricos que consumen energía y no son bien utilizados ocasionando un mal gasto de energía.

### **3.5.3. Situación actual de la empresa**

La planta en general no necesita grandes cambios, pero para poder ahorrar energía es necesario implementar algunos cambios que darán grandes resultados.

Ya que es necesario cambiar algunas luminarias bajando el consumo de sus watts, implementar sensores de movimiento en determinadas áreas para activar las luminarias, así como implementar apagadores independientes para poder utilizar las luminarias en determinadas áreas e instalar ahorradores de energía para los aparatos eléctricos, así como capacitaciones para los colaboradores de la planta.

### **3.6. Plan de mejora**

El plan de mejora consiste en poder optimizar el uso de la energía aprovechándola de la mejor manera, ya que su buen uso redundaría en un ahorro económico a la hora de cancelar la factura por la energía consumida.

En el plan de mejora se recomendara hacer ciertos cambios e implementaciones de técnicas para el ahorro energético.

#### **3.6.1. Iluminación**

Una gran parte del consumo energético se le atribuye a las luminarias ya que estas son utilizadas en un promedio de 18 horas al día, por lo que un balance energético eficiente contribuirá al ahorro de la misma.

En el plan de mejora se implementara el cambio de potencia de algunas luminarias, ya que en algunos casos las luminarias están sobredimensionadas. También en algunas áreas se aprovechara la luz natural apoyada de luminarias de menor potencia.

Así como la instalación de sensores de movimiento para activar las luminarias, la reinstalación de apagadores a apagadores independientes con el objetivo de focalizar la luz en determinadas áreas.

Se instalaran rotulación con el mensaje de ahorrar energía en apagadores, tomas de corriente y aparatos de consumo energético con el objetivo de concientizar a todo el personal sobre el ahorro energético. Y con ello fomentar una cultura de ahorro energético.

### 3.6.1.1. Cambio de tipo de luminarias

En la planta se encuentran instaladas una gran diversidad de luminarias en las cuales se necesita hacer unos pequeños cambio con el objetivo de ahorrar energía, por lo que se cambiará la potencia de algunas luminarias que se encuentran sobre dimensionado y otras que no son necesarias.

Figura 52. **Equivalencias de luminarias tradicionales con tecnología LED**

Tradicional	LED	Casquillo	Potencia	Equivalencia
	> 	E27	25W 40W 60W	LED E27 / 5W LED E27 / 7W LED E27 / 9W
	> 	Reflector E27	40W	LED E27 / 9W
	> 	E14	10W 15W	LED E14 / 3W LED E14 / 5W
	> 	GLS E14 E14/E27	10W 15W	LED E14 / 7W LED E14/27 / 9W
	> 	PAR38 E27	100W	LED PAR38 E27 18W LED PAR38 E27 24W
	> 	MR16 HAL.	35W 50W	LED MR16 5W LED MR16 6W LED MR16 9W
	> 	GU10 HAL.	50W 35W	LED GU10 6W LED GU10 5W
	> 	AR	100W	LED AR 18W

\* Las equivalencias dependen de variables como la altura, ángulo de apertura, etc.

Fuente: <http://www.ledbox.com>. Consulta: 28 julio del 2012.

Tabla XIV. **Balance de luminarias instaladas actualmente en la planta**

Zona	Tipo de Luminaria	Cantidad	Potencia por Luminaria (W)	Potencia Total (KW)	Uso (H/año)	Energía Anual (KWH/año)
Perí metro de la Planta	Lampara de mercurio	16	175	2.8	4380	2.8 X 4380=12264
Exterior de la Planta	Lampara de mercurio	12	175	2.1	4380	9198
Casa de Maquinas	Lampara High Bay-Reflector	8	500	4	8760	35040
Oficinas	Lamparas fluorescentes	20	80	1.6	4380	7008
Servicios Sanitrios	Lamparas fluorescentes	4	80	0.32	8760	2803.2
Taller de Mantenimiento	Lampara de sobre Poner	4	300	1.2	5110	6132
Parqueo	Lampara de mercurio	4	175	0.7	4380	3066
Sub Estación	Lampara para exterior	4	1500	6	4380	26280
Corredores	Lamparas fluorecentes	20	40	0.8	4380	3504
Sala de reuniones	Lamparas fluorescentes	4	80	0.32	800	256
Bodegas	bombillas convensionales	8	100	0.8	4380	3504
Comedor	Lamparas fluorescentes	6	80	0.48	1100	528
<b>Totales</b>		<b>110</b>		<b>21.12</b>		<b>109583.2</b>

Fuente: elaboración propia.

En la anterior tabla se puede observar el contenido de un balance energético de todas las luminarias que están instaladas actualmente en la planta. Donde se puede observar el total del kilo watts por hora consumidos en un año.

Tabla XV. **Balance de luminarias a instalar en la planta**

Zona	Tipo de Luminaria	Cantidad	Potencia por Luminaria (W)	Potencia Total (KW)	Uso (H/año)	Energía Anual (KWH/año)
Perí metro de la Planta	Lampara con ahorrador de energia	16	105	1.68	4380	1.68 X 4380= 4381.68
Exterior de la Planta	Lampara con ahorrador de energia	12	105	1.26	4380	5518.8
Casa de Maquinas	Lampara low bay con lente acrilico	8	400	3.2	8760	28032
Oficinas	Lamparas con difusor parabólico	20	64	1.28	4380	5606.4
Servicios Sanitrios	Lamparas con difusor parabólico	4	64	0.256	8760	2242.56
Taller de Mantenimiento	Lampara de alta eficiencia de sodio	4	250	1	5110	5110
Parqueo	Lampara de sodio de alta descarga	4	150	0.6	4380	2628
Sub Estación	Lampara flood light metal-halide	4	1000	4	4380	17520
Corredores	Lamparas fluorecentes	20	32	0.64	4380	2803.2
Sala de reuniones	Lamparas fluorescentes	4	64	0.256	800	204.8
Bodegas	Lampara led	8	60	0.48	4380	2102.4
Comedor	Lamparas fluorescentes	6	64	0.384	1100	422.4
<b>Totales</b>		<b>110</b>		<b>15.036</b>		<b>76572.24</b>

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior es posible observar el balance energético de las nuevas luminarias a implementar para poder obtener un ahorro energético.

En las anteriores tablas se encuentra el balance energético de las luminarias instaladas actualmente en la planta y el balance energético de las luminarias a cambiar, en el cual se observa que se puede reducir el consumo de energía haciendo el cambio de luminarias de menor consumo y mayor eficiencia

En la tabla XIV el total de kilowatt por hora consumido en un año es de 109 583,20 haciendo los cambios de luminarias en la tabla XV se aprecia el total de kilowatt por hora consumido en un año que es de 76 572,24.

Se observa que el ahorro energético sería la diferencia entre los dos totales el cual es de 33010.96 kilowatt por hora en un año.

El precio de la energía eléctrica actual es de 1,77 quetzales por kilowatt hora, haciendo la conversión del ahorro de energía de kilowatt por hora a quetzales es de  $(33\ 010,96 * 1,77) = 58\ 429,40$  quetzales que la planta ahorraría en un año por concepto del consumo de luminarias.

### **3.6.1.2. Aprovechamiento de la luz natural**

Una de las formas de poder ahorrar energía eléctrica es aprovechando la luz natural ya que esta no tiene ningún costo económico, por lo que la implementación de tragaluces o láminas traslucidas es de vital importancia, ya que con la luz natural del día, no se utilizan luminarias por unas horas o se pueden utilizarlas con menos potencia ya que la mayoría de la claridad la

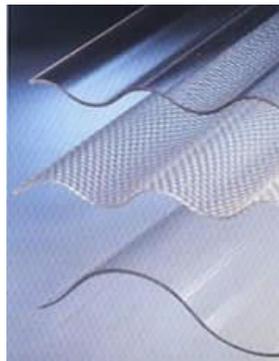
proporciona la luz del día, y con la ayuda de estas técnicas se ahorrara energía.

Las áreas donde es posible emplear esta técnica es el taller de mantenimiento, comedor, casa de máquinas, parqueo y corredores.

El ahorro estimado al implementar la instalación de láminas traslucidas es aproximadamente en un rango del 15 por ciento al 20 por ciento en el consumo se energía.

En la tabla siguiente se observa el ahorro que se obtendría al instalar las láminas traslúcidas.

Figura 53. **Lamina traslúcida**



Fuente: <http://www.lamin-plast.com>. Consulta: 28 de julio del 2012.

Tabla XVI. **Ahorro al instalar láminas traslúcidas**

Zona	Cantidad de Láminas traslúcidas	Consumo de Luminarias (KWS)	Consumo de Energía (KWS) Implementando Láminas Traslúcidas
Oficinas	8	1.6	1.36
Casa de Maquinas	10	4	3.4
Taller de Mantenimiento	6	1.2	1.02
Parqueo	6	0.7	0.595
Correroderes	20	0.8	0.68
Comedor	6	0.48	0.408
<b>Totales</b>		<b>8.78</b>	<b>7.463</b>

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se aprecia que al implementar la instalación de láminas traslúcidas se obtiene un ahorro de aproximadamente un 15 por ciento de la energía que normalmente consumen las luminarias en este caso sería 1,317 kilowatts.

### 3.6.1.3. Temporizadores y sensores de movimiento

Los temporizadores estos son unos dispositivos electrónicos que se programan en determinada para poder activar y desactivar un circuito en determinado tiempo. Estos aparatos son una buena alternativa para poder ahorrar energía, ya que la implementación de estos pueden ahorrar hasta un 40 por ciento del consumo de energía en las luminarias, y poder aprovechar de mejor manera la energía.

Figura 54. **Temporizador y sensor de movimiento**



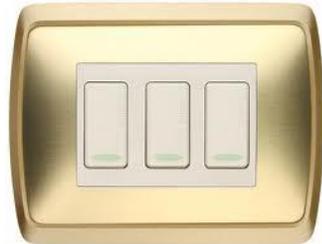
Fuente: <http://www.zawaves.com>. Consulta: 28 julio 2012.

Los sensores de movimiento son aparatos ahorradores de energía los cuales se pueden implementar en ciertas áreas, como pasillos no principales, bodegas y lugares donde se necesite luz cuando sea necesario estar presente. Este tipo de aparatos pueden ahorrar hasta un 50 por ciento de energía por lo que su aplicación podrá ahorrar bastante consumo de energía.

#### **3.6.1.4. Apagadores independientes**

Una buena forma de ahorrar energía es instalar los apagadores de luminarias independientes, ya que con esto se ahorrara energía, pues las luminarias estarían focalizadas en ciertas áreas y no se tendrá que tener todas las luces prendidas para poder trabajar una sola área. Pues muchas instalaciones por ahorrar en instalar unos apagadores de más, instalan todas las luminarias en serie hacia un solo apagador, no tomando en cuenta el gran desperdicio de energía que están provocando.

Figura 55. **Apagador**



Fuente: <http://www.biticino.com>. Consulta: 28 de julio de 2012.

### 3.6.1.5. **Rotulación en aparatos y tomas de corriente**

El objetivo principal de rotular todos los aparatos y tomas de corriente es de concientizar a todos los usuarios que se tiene que ahorrar energía y no desperdiciarla dejando las luces prendidas y aparatos conectados que consuman energía.

Figura 56. **Rotulación**



Fuente: <http://www.ahorroenergetico.com>. Consulta: 28 de julio del 2012.

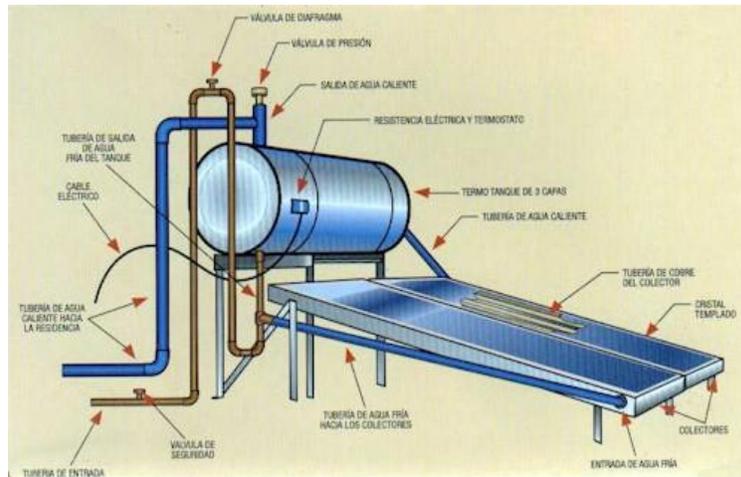
### **3.6.2. Aparatos eléctricos**

Un gran porcentaje de la energía consumida lo generan los aparatos eléctricos ya que estos forman parte de las herramientas de trabajo de gran cantidad de personal, pero la mala manipulación de los mismos pueden generar un desperdicio de energía, por lo que es necesario implementar algunos cambios e instalar otros aparatos que ayuden ahorrar energía.

#### **3.6.2.1. Calentadores de agua solares**

Los calentadores de agua solares son una buena opción para ahorrar energía a la hora de la ducha ya que estos no consumen ni un solo kilowatts de energía eléctrica, aprovechando la energía que irradia el sol. Pues el consumo promedio de un calentador eléctrico oscila en 1 000 watts y 1 500 watts utilizándolos por unos 15 minutos. Implementando este calentador de agua solar se estaría ahorrando una gran cantidad de energía ya que la ducha es un aparato que se utiliza diariamente y puede ser utilizada por varias personas.

Figura 57. **Calentador de agua solar**



Fuente: <http://www.alternativaenergética.com>. Consulta: 29 julio del 2012.

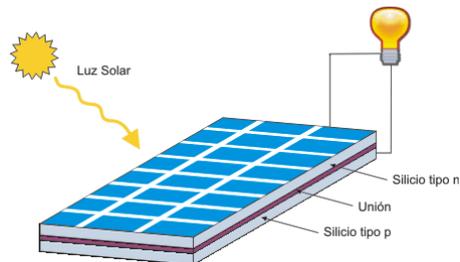
### 3.6.2.2. **Paneles solares**

Otra solución para el ahorro de energía es la instalación de paneles solares ya que estos transforman la energía que irradia el sol en energía eléctrica.

Los paneles solares pueden instalarse para poder alimentar los aparatos electrónicos de poco consumo de potencia, como televisiones LCD, computadoras, baterías de aparatos electrónicos, etc.

En este caso se puede utilizar para las computadoras que se utilizan en las oficinas, pantallas LCD que se encuentran en la sala de reuniones, y para cargar baterías de aparatos móviles.

Figura 58. **Panel solar**



Fuente: <http://fivestarsolar.com>. Consulta: 29 julio 2012.

### **3.6.2.3. Economizadores de energía en aparatos eléctricos**

Una buena manera de ahorrar energía eléctrica es utilizar ahorradores de energía en los aparatos eléctricos que se utilizan con frecuencia, ya que estos pueden llegar a ahorrar hasta un 35 por ciento de la energía que consumen ya que muchos de estos tipos de aparatos consumen energía fantasma.

Los aparatos a los que podemos implementar estos ahorradores son, las computadoras, los televisores, teléfonos, faxes, cañoneras y otra gran variedad de aparatos.

### **3.6.3. Utilización de aire acondicionado**

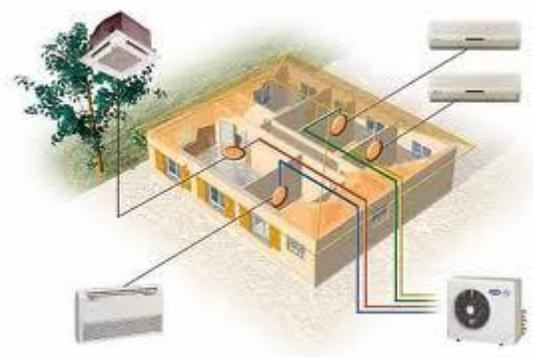
El aire acondicionado es uno de los mayores consumidores de energía por lo cual, la buena manipulación de estos aparatos es de vital importancia para el ahorro energético, ya que en muchos casos se desperdicia esta fuente de energía.

Por lo que se recomienda utilizar el aire acondicionado en recintos donde sean de mayor prioridad, también el subir un grado al termostato estaría ahorrando hasta 120 kilowatts por hora.

Otra técnica de ahorrar energía en nuestro sistema de aire acondicionado es aislar correctamente los recintos ya que si se tienen entradas de aire del ambiente al recinto ya acondicionado, los equipos consumen más energía hasta un 15 por ciento de energía que consume normalmente sin entradas de aire.

La otra manera de ahorrar energía en el sistema de acondicionamiento es apagarlo en horas donde no es necesario el acondicionamiento del ambiente ya que se está desperdiciando energía.

Figura 59. **Aire acondicionado**



Fuente: <http://www.aireyork.com>. Consulta: 30 julio 2012.

### 3.6.4. Aplicación de pinturas de colores claros

La aplicación de pinturas claras en las paredes ayudará a que la luz se refleje de mejor manera y tener una visión clara. Por lo que al tener una buena visión el tipo de luminaria será de menor consumo de potencia, esta técnica podrá ahorrar hasta un 10 por ciento del consumo energético por luminarias.

Figura 60. **Pinturas para interiores**



Fuentes: <http://www.comex.com>. Consulta: 30 de julio del 2012.

### 3.6.5. Ahorro de energía en el sistema de aire comprimido

El buen diseño de un sistema de aire comprimido es importante para el ahorro energético ya que el mal diseño de este puede repercutir en un alto consumo energético. Por lo que se necesita que el diseño sea el más económico y eficiente, sin que tenga ningún sobre dimensionamiento, que contenga el mínimo de curvas en tuberías y la mínima fricciones en tuberías. Todas las recomendaciones anteriores ayudarán a ahorrar energía y tener un bajo costo de operación.



## **4. FASE DE DOCENCIA**

### **4.1. Capacitación al personal sobre ahorro de energía**

Uno de los métodos más eficientes para ahorrar energía, es el capacitar a todo el personal que se conduce por la planta ya que ellos son los usuarios de los consumidores de energía. El objetivo de capacitar a todo el personal es concientizarlos, para que le den el uso adecuado a la energía eléctrica.

Las capacitaciones deben de ser impartidas por una persona especializada en este tema y tienen que realizarse constantemente para retroalimentar el buen uso de la energía.

La implementación de realizar capacitaciones al personal que se conduce dentro de la planta el consumo energético se ha observado en otras plantas ha disminuido el consumo en un rango de 5 por ciento al 8 por ciento del consumo de energía.

Figura 61. **Capacitaciones**



Fuente: <http://www.solucionesintegrales.com>. Consulta: 30 de julio del 2012.

#### **4.2. Programación de capacitaciones semestrales sobre ahorro de energía**

La programación de las capacitaciones sobre el ahorro energético es vital ya que si no se hace una retroalimentación por lo menos dos veces al año nuestros resultados no serán los deseados.

Por lo que se sugiere que estas se hagan periódicamente, en grupo no mayores de 25 personas, para que la capacitación pueda llegar a todas las personas y tener una mejor captación de todos los participantes.

Dependiendo de la cantidad de los integrantes que colabore en la empresa, serán divididos en distintos grupos y horarios para poder programar las fechas para poder darles la capacitación.

Tabla XVII. **Programación de capacitaciones**

<b>Numero de Grupo</b>	<b>Fecha de capacitación</b>	<b>Cantidad de horas</b>
Grupo # 1	2da semana de enero	16 horas
Grupo # 2	1ra semana de marzo	16 horas
Grupo # 3	2da semana de mayo	16 horas
Grupo # 4	1ra semana de junio	16 horas
Grupo # 1	1ra semana de julio	16 horas
Grupo # 2	2da semana de septiembre	16 horas
Grupo # 3	2da semana de octubre	16 horas
Grupo # 4	2da semana de noviembre	16 horas

Fuente: elaboración propia.

La programación anterior es aplicada para un periodo de un año, llenando las horas necesarias de capacitación que deben de cumplir todos los colaboradores que se desplazan en la planta.

#### **4.3. Capacitación por un experto en el ahorro de energía**

Las capacitaciones tienen que ser realizadas por una persona experta en el tema, ya que de esta persona depende que todo el personal reciba una buena capacitación.

La persona en cargada de las capacitaciones tiene que tener una gran experiencia con el fin de brindar a los capacitados la mayor información y que el personal pueda colaborar para poder ahorrar energía. El experto tiene que capacitar a los colaboradores sobre la importancia de ahorrar energía y los beneficios que con llevan el poder ahorra energía.

#### **4.4. Evaluación de capacitaciones**

Una manera de saber si el personal pudo absorber y comprender la capacitación es mediante una pequeña evaluación que se le debe de realizar a todas las personas que recibieron la capacitación. Las evaluaciones son indicadores de que se aplicara de una buena manera lo aprendido en las capacitaciones.

La prueba debe de calificarse con un punteo ya que esta tendrá que aprobarse con un puntaje mínimo de 80 puntos, esto es con el fin de que la persona haya puesto la mayor atención a la capacitación, de lo contrario deberá someterse a una nueva capacitación hasta aprobarla.

El objetivo de la evaluación es para que el personal ponga la mayor atención posible y poder comprobar que se pudo llegar al objetivo de las capacitaciones.

Esquema de evaluación de las capacitaciones

Marque con una X la respuesta que considere correcta

Tabla XVIII. **Ejemplo de evaluación de la capacitación**

	<b>Pregunta</b>	<b>I</b>	<b>O</b>
	Se deben de dejar las luces prendidas sin que sea necesario		
	Debemos de dejar la computadora prendida cuando no la estemos utilizando		
	Si miramos una luz prendida y no la están utilizando la debemos de apagar		
	Debemos utilizar las luces cuando es de día y no sea necesario utilizarlas		
	Debemos utilizar el aire acondicionado cuando no sea necesario		
	Si vemos un aparato eléctrico que esta encendido y nadie lo está utilizando lo debemos de apagar		
	Si vemos que las luminarias del exterior de la planta están prendidas no debemos de avisar al departamento técnico		
	Si nos bañamos con agua caliente debemos de tardarnos más de una hora utilizando el calentador de agua		
	Si es de día no tenemos que utilizar la luz natural		
	Si no es necesarios debemos de apagar el aire acondicionado		

Fuente: elaboración propia.

Este es un ejemplo del tipo de evaluación que se debe de pasar a los que fueron capacitados, esta es una evaluación sencilla que comprobara el aprendizaje de las capacitaciones.

#### **4.5. Resultado de las capacitaciones**

Los resultados de las capacitaciones son muy importantes ya que con los buenos resultados de esta y la ayuda de todos los colaboradores que se conducen por la planta se estaría ahorrando entre un 8 por ciento a un 10 por ciento de la energía que se consume, ya que mucha energía es desperdiciada sin tener ningún beneficio alguno.

## CONCLUSIONES

1. Con el diseño de la red de aire comprimido realizado en este trabajo se garantiza el funcionamiento óptimo de las herramientas neumáticas siempre y cuando no se conecte ninguna otra herramienta que no estén incluida en los cálculos implementados al taller de mantenimiento de la Hidroeléctrica Santa Teresa.
2. La selección del tamaño de diámetro a utilizar en las tuberías de conducción es la que menos pérdida por fricción causa en toda la red de aire comprimido, ya que la mala selección de esta no estaría produciendo caídas de presión constantes.
3. El buen dimensionamiento del depósito de aire fue calculado para poder abastecer a todas las herramientas neumáticas sin que este se quede vacío para poder alimentar a todas las herramientas neumáticas. Al igual la elección del compresor es el ideal para poder alimentar a toda la red de aire comprimido y a las herramientas neumáticas, sin que aparezcan caídas de presión.
4. En el presupuesto de proyecto se tomó en cuenta la tubería a utilizar, los accesorios, costo del compresor y depósito de aire. Así como el costo de mano de obra en la ejecución del proyecto.

5. La propuesta sobre el ahorro energético para ser implementada dentro de la central Hidroeléctrica Santa Teresa, es un proyecto en la cual se recomiendan una serie de cambios e implementaciones para poder obtener un el óptimo ahorro energético.
  
6. En la implementación de este sistema de aire comprimido se podrán hacer mantenimientos utilizando herramientas neumáticas, estas ayudan a realizar el mantenimiento de maquinarias en períodos más cortos de tiempo. Ya que los paros de maquinaria son muy costosos para las empresas.

## RECOMENDACIONES

Al gerente general

1. La implementación de la siguiente red de aire comprimido para el funcionamiento de herramientas neumáticas, ya que el aire comprimido es la fuente de energía que utilizan este tipo de herramientas, y esta fuente de energía es de más bajo costo y produce menos contaminación para el medio ambiente que otros tipos que existen en la actualidad.
2. Implementar la propuesta de ahorro energético, ya que con esta se podría ahorrar hasta un 15 por ciento anualmente de la energía que se consume, siempre y cuando se invierta en la implementación de la misma.

Al jefe de mantenimiento

1. Realizar el cálculo del consumo de aire de cada herramienta neumática para poder evitar futuras fluctuaciones y caídas de presión en el sistema de aire comprimido y con esto evitar fallas en el funcionamiento de las herramientas neumáticas.
2. Seleccionar el diámetro y el tipo de la tubería adecuado para tener menos pérdidas por fricción, y evitar caídas de presión.

3. Implementar un plan de mantenimiento a la red de aire comprimido ya que la falta de mantenimiento causarían posibles fallas en el futuro.
4. Darle el mantenimiento al sistema de purgas ya que el condensado en nuestro sistema causarían corrosión y fallas en los equipos.
5. Implementar la red de aire comprimido lo más pronto posible ya que el presupuesto realizado está basado en los precios actuales en el mercado, y su postergación redundaría en costos más altos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BAUMEISTER, T. y otros. *Manual del ingeniero Mecánico*. 8a ed. México: McGraw Hill, 1987. 2000 p.
2. ELONKA, Steve. *Operación de plantas industriales*. 2a ed. México: McGraw Hill, 1988. 683 p.
3. GRENE, Richard W. *Compresores, selección, uso y mantenimiento*. 3a ed. México: McGraw Hill, 1989. 450 p.
4. JUÁREZ PIZZA, Pedro Antonio. *Diseño de sistemas neumáticos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 1979. 118 p.
5. *Manual de operaciones e instrucciones de compresores*. Ingersoll-Rand, 1990. 125 p.
6. *Manual de productos para la conducción de aire comprimido*. Norgren, Littleton, CO. USA, 1997. 97 p.
7. *Manual de fundamentos de aire comprimido*. Atlas Copco. 160 p.

8. RODRIGUEZ Gutiérrez Ervin Joel. *Diseño de la línea de aire comprimido para herramientas neumáticas en la empresa Turboservicios de C.A., S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2005. 105 p.

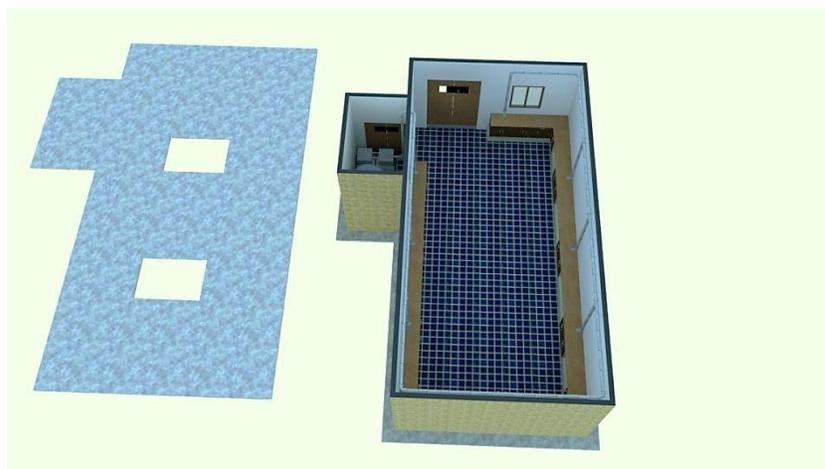
## APÉNDICES

### Vista interna en 3D del Taller de mantenimiento



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Design Review 2011.

### Vista elevada en 3D Taller de mantenimiento



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Design Review 2011.

### Plano interior en 3D taller de mantenimiento



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Design Review 2011.

### Plano en 3D del deposito de aire y compresor



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Design Review 2011.

## ANEXOS

### Fotografía de Casa de Máquinas Hidroeléctrica Santa Teresa



Fuente: <http://www.corporacionmultiinversiones.com>. Consulta: 5 de agosto 2012.

