



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

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN UTILIZANDO LAVADORAS INDUSTRIALES DE AIRE EN LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS (VENTILACIÓN Y MOTORES) DE LA EMPRESA DE MOTORES ELÉCTRICOS DE GUATEMALA, S.A. -MOEGSA-**

**Laura Michelle Villagrán Villatoro**

Asesorado por el Ing. Edgar Antonio Búrbano López

Guatemala, octubre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN UTILIZANDO LAVADORAS INDUSTRIALES DE AIRE EN LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS (VENTILACIÓN Y MOTORES) DE LA EMPRESA DE MOTORES ELÉCTRICOS DE GUATEMALA, S.A. -MOEGSA-**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LAURA MICHELLE VILLAGRÁN VILLATORIO**  
ASESORADO POR EL ING. EDGAR ANTONIO BÚRBANO LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA INDUSTRIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

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. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas
EXAMINADOR	Ing. Sergio Fernando Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Edwin Giovanni Tobar Guzmán
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 E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN UTILIZANDO LAVADORAS INDUSTRIALES DE AIRE EN LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS (VENTILACIÓN Y MOTORES) DE LA EMPRESA DE MOTORES ELÉCTRICOS DE GUATEMALA, S.A. -MOEGSA-**

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

  
**Laura Michelle Villagrán Villatoro**

Guatemala, 24 de abril de 2012

Universidad de San Carlos  
Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Mecánica Industrial  
Sr. Director de Escuela

Por este medio hago de su conocimiento que tuve a bien de revisar el trabajo de graduación de la estudiante Laura Michelle Villagrán Villatoro con carné 2006-11037 el tema "DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN UTILIZANDO LAVADORAS INDUSTRIALES DE AIRE EN LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS (VENTILACIÓN Y MOTORES) DE LA EMPRESA DE MOTORES ELÉCTRICOS DE GUATEMALA, S.A. -MOEGSA" EL cual encuentro satisfactorio y apruebo el misma para que pueda continuar con el trámite correspondiente.

Atentamente



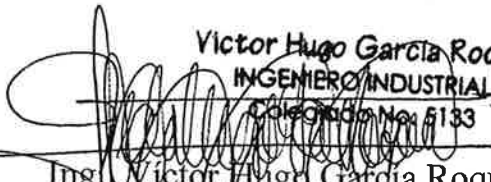
Ing. Edgar Antonio Burbano Lopez

ING. EDGAR BÚRBANO  
Colegiado No. 5609



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN UTILIZANDO LAVADORAS INDUSTRIALES DE AIRE EN LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS (VENTILACIÓN Y MOTORES) DE LA EMPRESA DE MOTORES ELÉCTRICOS DE GUATEMALA, S.A. -MOEGSA-**, presentado por la estudiante universitaria **Laura Michelle Villagrán Villatoro**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Victor Hugo Garcia Roque  
INGENIERO INDUSTRIAL  
Colegiado No. 5133  
Ing. Victor Hugo Garcia Roque  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, agosto de 2012.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN UTILIZANDO LAVADORAS INDUSTRIALES DE AIRE EN LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS (VENTILACIÓN Y MOTORES) DE LA EMPRESA DE MOTORES ELÉCTRICOS DE GUATEMALA, S.A. -MOEGSA-**, presentado por la estudiante universitaria **Laura Michelle Villagrán Villatoro**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquiza Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2012.

/mgp



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 Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN UTILIZANDO LAVADORAS INDUSTRIALES DE AIRE EN LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS (VENTILACIÓN Y MOTORES) DE LA EMPRESA DE MOTORES ELÉCTRICOS DE GUATEMALA, S.A. -MOEGSA-**, presentado por la estudiante universitaria: **Laura Michelle Villagrán Villatoro**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

A large, handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval shape.



Guatemala, octubre de 2012



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Por estar siempre a mi lado, darme fuerzas e iluminar mi camino.

**Mi padre**

Por ser mi motivación diaria, escucharme y apoyarme en todos los aspectos de mi vida.

**Mi familia**

Por brindarme su apoyo incondicional durante la carrera y enseñarme a valorar lo que tengo en especial a mi madre, abuela y tíos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por todas sus bendiciones.
<b>Mis padres, abuela y tíos</b>	Por darme la oportunidad de estudio, su apoyo, amistad, orgullo, ánimo, pero sobre todo, por confiar en mí cada instante de la carrera.
<b>Mi familia</b>	Por brindarme su apoyo.
<b>Mis amigos</b>	Por brindarme su amistad.
<b>Mis revisores</b>	Ing. Víctor Hugo García Roque y Licda. Aura Mayorga, por su apoyo desinteresado.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Motores eléctricos de Guatemala.....	1
1.1.1. Ubicación .....	1
1.1.2. Historia.....	2
1.1.3. Misión .....	3
1.1.4. Visión .....	3
1.1.5. Servicios .....	3
1.1.6. Estructura organizacional .....	4
1.1.7. Planta de distribución.....	6
1.1.7.1. Generalidades.....	6
1.2. Sistema de climatización .....	8
1.2.1. Definición .....	8
1.2.2. Ventilación .....	8
1.2.2.1. Definición .....	8
1.2.2.2. Ventilación industrial .....	13
1.2.3. Ventilador.....	16
1.2.3.1. Generalidades.....	16

1.2.3.2.	Curva característica .....	17
1.2.3.3.	Punto de trabajo .....	20
1.2.4.	Mantenimiento .....	23
1.3.	Lavadora de aire industrial .....	25
1.3.1.	Información general .....	25
1.3.2.	Características y detalles.....	26
1.3.3.	Panel de enfriamiento evaporativo .....	27
1.3.4.	Despiece de equipo .....	28
1.3.5.	Características constructivas.....	29
1.3.6.	Refrigeración y humidificación por evaporación .....	31
2.	SITUACIÓN ACTUAL EN LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN.....	33
2.1.	Planta de distribución .....	33
2.1.1.	Área construida y techada .....	33
2.1.1.1.	Dimensiones del terreno .....	33
2.1.1.2.	Diseño de infraestructura.....	34
2.1.1.3.	Diseño de techos .....	35
2.1.2.	Situación interna.....	35
2.1.2.1.	Ventilación .....	35
2.1.2.2.	Temperatura .....	37
2.1.2.3.	Ruido .....	37
2.1.3.	Situación del entorno urbano.....	38
2.1.3.1.	Humedad .....	39
2.1.3.2.	Temperatura .....	40
2.1.3.3.	Ruido .....	41
2.1.3.4.	Olores .....	41
2.2.	Focos de calor.....	42
2.2.1.	Principales fuentes .....	42

2.2.2.	Medición de temperatura .....	42
3.	PROPUESTA DE DISEÑO PARA IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.....	43
3.1.	Datos básicos .....	43
3.1.1.	Ubicación geográfica .....	43
3.1.2.	Determinación de caudal .....	44
3.1.2.1.	Cargas térmicas .....	44
3.1.2.2.	Cambios de aire .....	45
3.1.3.	Velocidad de paso y eficiencia de enfriamiento .....	45
3.1.4.	Determinación del agua evaporada .....	46
3.1.5.	Cálculos básicos .....	47
3.2.	Diseño del sistema .....	49
3.2.1.	Sistema de ductos .....	49
3.2.1.1.	Distribución del caudal de aire .....	49
3.2.1.2.	Dimensionamiento de ductos y conexiones .....	50
3.2.1.3.	Cálculo de caída de presión.....	51
3.2.2.	Selección de modelo.....	51
3.2.2.1.	Datos técnicos .....	52
3.2.2.2.	Estructura de carga para equipo.....	55
3.2.3.	Instalación eléctrica .....	55
3.3.	Cálculo de materiales .....	55
3.3.1.	Sistema de ductos .....	55
3.3.2.	Estructura de carga.....	57
3.3.3.	Material eléctrico.....	57
3.4.	Costo total del proyecto.....	57
3.4.1.	Equipo.....	58

3.4.2.	Materiales .....	59
3.4.3.	Mano de obra .....	60
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA .....	61
4.1.	Instalación del sistema .....	61
4.2.	Operación del equipo .....	63
4.2.1.	Condiciones de equipo .....	64
4.2.1.1.	Previo a su ejecución.....	64
4.2.1.2.	En ejecución .....	66
4.3.	Mantenimiento preventivo .....	68
4.3.1.	Mantenimiento menor .....	68
4.3.1.1.	Calidad del agua .....	69
4.3.1.2.	Nivel de obstrucción en filtros .....	70
4.3.1.3.	Tensión y desgaste de fajas .....	70
4.3.2.	Mantenimiento mayor .....	71
4.3.2.1.	Limpieza de turbina y ductos .....	71
4.3.2.2.	Lavado y desobstrucción de filtros.....	72
4.3.2.3.	Eliminación de sedimentos en tanque y cambio de agua.....	72
4.3.2.4.	Limpieza a bomba de agua.....	73
4.3.2.5.	Lubricación de cojinetes y chumacera .....	75
4.3.2.6.	Aislamiento eléctrico .....	77
4.3.2.7.	Torque de tornillos en partes móviles .....	78
4.3.2.8.	Cambio de fajas .....	79
5.	SEGUIMIENTO O MEJORA CONTINUA .....	83
5.1.	Resultados .....	83

5.1.1.	Temperatura en operación.....	83
5.1.2.	Comparación con focos de calor.....	83
5.2.	Mejoras.....	84
5.2.1.	Consumo eléctrico .....	84
5.2.1.1.	Variadores de velocidad electrónicos.....	84
5.2.1.2.	Selección de variador.....	87
5.2.1.3.	Consumo con variador de velocidad electrónico .....	91
5.2.1.4.	Comparación de consumos.....	92
5.2.2.	Calidad del agua .....	93
5.2.2.1.	Vida útil .....	93
5.2.2.2.	Tratamiento de agua .....	94
5.2.2.3.	Vida útil luego del tratamiento .....	96
5.2.2.4.	Comparación de vidas útiles .....	97
CONCLUSIONES .....		99
RECOMENDACIONES .....		101
BIBLIOGRAFÍA.....		103





# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Mapa de localización Motores Eléctricos de Guatemala S.A. ....	2
2.	Organigrama de Motores Eléctricos de Guatemala S.A.....	6
3.	Mapa de localización de planta de distribución .....	7
4.	Plano de planta de distribución MOEGSA.....	7
5.	Focos de contaminación.....	11
6.	Bocas de captación.....	12
7.	Evacuación de gases .....	12
8.	Formas de evacuación .....	13
9.	Esquema de un ventilador.....	17
10.	Representación de una curva y las presiones estáticas.....	19
11.	Curvas características de un ventilador .....	21
12.	Curvas características .....	23
13.	Panel de enfriamiento evaporativo .....	28
14.	Despiece de equipo.....	29
15.	Diseño de enfriamiento evaporativo .....	31
16.	Refrigeración y humidificación por evaporación.....	32
17.	Diseño de ductos.....	50
18.	Dimensionamiento de ductos .....	50
19.	Calculo de presiones.....	51
20.	Descarga horizontal, DAL 72.....	54
21.	Tolerancias de vibración para maquinaria en unidades de desplazamiento (mils) y frecuencias de vibración (CPM).....	62

22.	Intervalos de lubricación .....	77
23.	Alineación de poleas .....	80
24.	Medición de la tensión de deflexión .....	81
25.	Diagrama esquemático de un variador de frecuencia .....	86
26.	Código de tipo .....	87

## TABLAS

I.	Estándares para ventilación localizada .....	14
II.	Estándares para ventilación ambiental .....	15
III.	Infraestructura de la planta .....	34
IV.	Constante de carga térmica .....	44
V.	Características técnicas .....	52
VI.	Características generales, DAL-72 .....	53
VII.	Características principales, DAL-72 .....	54
VIII.	Cálculo de lámina .....	56
IX.	Costo total .....	58
X.	Cálculo de materiales .....	59
XI.	Especificaciones técnicas .....	88
XII.	Tensión de alimentación trifásica .....	90
XIII.	Unidades montadas en pared .....	90
XIV.	Comparación de consumos .....	93
XV.	Parámetros de control de la calidad del agua .....	96
XVI.	Parámetros dado tratamiento .....	97

## SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CP2</b>	Bomba automática de enfriamiento evaporativo
<b>MSP</b>	Bomba sumergible
<b>FPM</b>	Fragmentos por millón
<b><math>\Omega</math></b>	Humedad relativa
<b>m.</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	Metro cúbico por hora
<b>m.s.n.m.</b>	Metro sobre el nivel del mar
<b>mm c.d.a</b>	Milímetros columna de agua
<b>CFM</b>	Pie cúbico por segundo
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>S&amp;P</b>	Soler & Palau
<b>WBT</b>	Temperatura bulbo húmedo
<b>DBT</b>	Temperatura de bulbo seco
<b>BTU</b>	Unidad de energía inglesa



## GLOSARIO

<b>Aerobio</b>	Microorganismo que necesita del oxígeno molecular libre para subsistir.
<b>Conductividad</b>	Propiedad natural de los cuerpos que consiste en transmitir el calor o la electricidad.
<b>DAL</b>	Nombre de lavadora industrial de Soler & Palau.
<b>Decibelímetro</b>	Aparato utilizado para medir decibeles.
<b>DuctuladorEasy-Vent</b>	Programa de Soler & Palau que permite obtener diámetro de ducto según lo requerido de caudal y longitud.
<b>IGSS</b>	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.
<b>Índice de Langelier</b>	Es una medida del grado de saturación del carbonato de calcio en el agua, se basa en el pH, alcalinidad y dureza. Si el índice es positivo se pueden formar incrustaciones.
<b>IRTRA</b>	Instituto de Recreación para los Trabajadores.

<b>Legionella</b>	Enfermedad contagiosa producida por una bacteria del mismo nombre caracterizada por la aparición de fiebre, neumonía, congestión y que, en ocasiones, puede producir la muerte del afectado.
<b>Little Giant</b>	Marca de bombas de agua.
<b>Louver</b>	Accesorio de ventilación utilizado para restringir el paso de aire o bien darle ángulo a la dirección.
<b>MOEGSA</b>	Motores Eléctricos de Guatemala Sociedad Anónima
<b>Munter</b>	Panel filtrante de equipos DAL.
<b>Pintura electrostática</b>	Recubrimiento que se aplica con un fluido de polvo seco.
<b>Regla de Dalton</b>	Mezclas en gas ideal.
<b>Sicrómetro</b>	Aparato para medir humedad.
<b>Turbidez</b>	Medida de la no transparencia del agua debida a la presencia de materia orgánica suspendida.

## **RESUMEN**

La empresa Motores Eléctricos de Guatemala S.A. al igual que las empresas de hoy en día; tiene la necesidad de mantener altos niveles de competitividad, por ello surge la propuesta de implementar un sistema de climatización en la planta de distribución, lo que le permitirá mantener condiciones óptimas y de confort en el área administrativa y cumplir con los requisitos elementales para conservar los motores eléctricos en óptimo estado.

La finalidad de la propuesta es utilizar los mismos recursos con los que cuenta la empresa, por lo que en lo posible se utilizará equipo de las marcas que representa.

Considerando dichos aspectos, surge la idea de implementar una lavadora de aire industrial en la planta, lo que además de permitirle a la empresa un bajo costo, protegen el medio ambiente, pues el sistema de enfriamiento evaporativo cumple con las mismas condiciones que ofrece un sistema de aire acondicionado, con la ventaja de que no utiliza ningún gas tóxico y el mantenimiento representa muy bajo costo.

Finalmente, el sistema propuesto ofrece ventajas ambientales, económicas, de confort al personal, conservación de equipo, entre otras.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar e implementar un sistema de climatización para la planta de distribución de equipos industriales de Motores Eléctricos de Guatemala S.A. –MOEGSA–

### **Específicos**

1. Analizar las condiciones climáticas actuales en las que los trabajadores realizan sus actividades en la planta de Motores Eléctricos de Guatemala S.A. –MOEGSA–
2. Identificar riesgos derivados por focos de calor según las actividades cotidianas desempeñadas por los trabajadores en la planta de distribución.
3. Mejorar las condiciones laborales de los trabajadores y así aumentar la producción de la planta.
4. Proponer un sistema de climatización que cumpla con las necesidades del mejoramiento climático en la planta de distribución.

5. Seleccionar el modelo de lavadora de aire industrial ideal, que cumpla las condiciones ambientales requeridas con el menor costo y consumo de recursos naturales.
6. Instruir al usuario sobre el uso adecuado de la lavadora de aire industrial.
7. Definir supervisiones periódicas para verificar las condiciones de operación de una lavadora de aire industrial.

## INTRODUCCIÓN

La Empresa Motores Eléctricos de Guatemala S.A. se dedica a la venta y asesoría de equipos y sistemas para las áreas de ventilación industrial y comercial, sistemas de lavadoras de aire industrial, motores eléctricos, entre otros; de modo que para promover la calidad y el servicio ofrece también el trabajo de instalación de los mismos.

El fin de ofrecer asesoría, es que el equipo adquirido satisfaga las necesidades y expectativas del cliente, además de darle garantía del buen funcionamiento del sistema diseñado y del equipo mismo. De igual forma, el propósito de ofrecer el servicio de instalación es para cumplir con los estándares de calidad y cubrir una mayor garantía en el funcionamiento del sistema completo ya instalado. Sin embargo, actualmente la empresa no cuenta con un sistema de ventilación en su propia planta de distribución.

Se considera por lo tanto de suma importancia que la empresa de Motores Eléctricos de Guatemala –MOEGSA- vea la necesidad de implementar un sistema de climatización en su planta de distribución, lo cual será de utilidad no solo para la empresa y su imagen, sino también para la comodidad y confort del personal de trabajo y como referencia para el profesional que esté interesado en implementar un sistema similar.

Este sistema de climatización debe de contar con las medidas de higiene que permitan condiciones sanas para el personal de trabajo.

El sistema de igual forma se debe de realizar con lavadoras industriales de aire, también conocidas como manejadoras de enfriamiento evaporativo, las cuales permiten un sistema seguro en lugares donde se hace necesaria la disminución de temperatura por medio de un método confiable y económico.

La implementación de la lavadoras de aire industrial tiene como propósito no solo mejorar las condiciones climáticas de la planta, sino lograrlo con equipos que la misma empresa puede ofrecer y tiene en venta para el cliente. Equipos que están certificados por normas de calidad y seguridad.

En el trabajo a continuación se verán las definiciones del sistema, la forma de cálculo para la selección del mismo, su implementación, el mantenimiento que requiere y las mejoras que puede presentar.

# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. Motores Eléctricos de Guatemala**

Motores Eléctricos de Guatemala S.A. también se le conoce por su abreviación MOEGSA; se especializa en los temas de motores eléctricos, ventilación industrial y comercial, variadores de frecuencia y equipos de control. Los productos que ofrece son líderes en el mercado internacional y de excelente aceptación.

### **1.1.1. Ubicación**

La oficina de la empresa Motores Eléctricos de Guatemala, S.A. se ubica en la ciudad de Guatemala en calzada Aguilar Batres 45-99 zona 12 y la planta de distribución en parque industrial UNISUR Km. 19 carretera al Pacífico.

Las oficinas de la empresa están equipadas y diseñadas, para la venta y asesoría de equipos industriales por lo que su ubicación estratégica es dentro de la ciudad.

La planta industrial está destinada a la exportación e importación de equipos industriales en las ramas de ventilación, motores eléctricos, variadores, accesorios, entre otros; para lo que se ubica fuera del perímetro urbano.

Figura 1. **Mapa de localización Motores Eléctricos de Guatemala S.A.**



Fuente: [www.maps.google.com.gt/maps](http://www.maps.google.com.gt/maps); Consulta: julio de 2011.

### **1.1.2. Historia**

Motores Eléctricos de Guatemala, fue fundada en 1986, con el propósito de ofrecer una gran variedad de repuestos, accesorios, maquinaria general para la industria y el comercio. Es una empresa nacional representante de las mejores marcas de calidad mundial, importando y exportando desde Guatemala a Centroamérica y el Caribe, ABB en el área de variadores, US Motors en el área de motores y Soler & Palau en el área de ventilación.

S&P fue creada en España y desde sus inicios hubo una clara visión de que el futuro dependía de la expansión exterior, inicialmente hacia Europa, para continuar en el resto de los mercados mundiales. Uno de sus sucesores creó la planta en México, lugar donde el fundador de MOEGSA conocería del producto para traerlo a Guatemala y volverse así representante único de la marca. Más tarde trajo consigo también las marcas ABB, US Motors, entre otros.

Uno de los lemas principales de MOEGSA es respaldar a los clientes con servicio y garantía, por medio de ingenieros capacitados y técnicos especializados a nivel mundial, para encontrar la solución a los problemas de clientes en sus distintas gamas; variadores de velocidad, motores, ventilación, automatización, equipos de control, servicios, por enumerar algunos.

### **1.1.3. Misión**

“Llegar a ser la empresa de equipos eléctricos industriales de mayor reconocimiento a nivel centroamericano en brindar el mejor servicio, con innovación, cobertura a nivel nacional e internacional, a disposición de la industrial y el comercio, estableciendo parámetros de calidad, mejores tiempos de entrega, un gran stock de productos, repuestos y accesorios, en busca de la solución a sus problemas”.

### **1.1.4. Visión**

“Ser una empresa reconocida, distinguida, renombrada y demandante, en el mundo industrial gracias a la buena reputación y distinción adquirida por nuestros productos, servicios y asesoría de gran calidad, logrando así enfrentar mercados internacionales”.

### **1.1.5. Servicios**

Los servicios que presta la empresa Motores Eléctricos de Guatemala son:

- Venta de equipo
- Asesoría

- Cálculos y diseño
- Instalaciones dentro y fuera de la ciudad
- Repuestos y accesorios con garantía de fábrica
- Exportación a Centroamérica y Caribe

#### **1.1.6. Estructura organizacional**

La empresa de Motores Eléctricos de Guatemala está conformada por varios departamentos, entre ellos el departamento Gerencial, Administrativo, Contabilidad, Finanzas, Importación y Exportación, Ventas, Bodega e Inventario y por último, el departamento de Instalación.

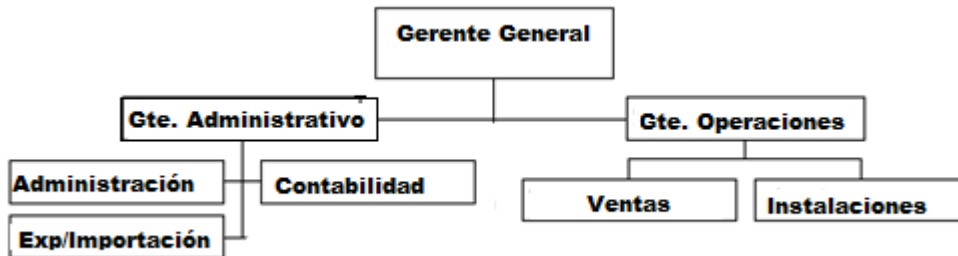
- Gerencia general: se encuentra el dueño de la empresa también considerado el gerente general y la persona a cargo de la misma y de su imagen internacional; es el fundador también de la distribuidora centroamericana Soler & Palau.
- Administración: se encuentran las personas a cargo de toda el área financiera de la empresa a nivel nacional e internacional. Este departamento también se encarga de la contratación, reclutamiento, capacitación, despido, entre otros. Lo más importante es que se vela por la estabilidad económica y financiera de la empresa y para ello cuenta con ayudantes que son los que corresponden al departamento de contabilidad.
- Contabilidad: como anteriormente se comentó este es el departamento que ayuda al área administrativa pues es el encargado de algunas partes económicas y financieras de la empresa; entre ellos se encuentran los pagos directos a los empleados, así como los de IGSS, IRTRA, entre



otros, de cada uno de los trabajadores. Ayudan al departamento de ventas pues se encargan de los cobros a los clientes cuando se trabaja a crédito con ellos. Y en términos generales, llevan los libros de contabilidad al día para que la empresa no cuente con problemas legales.

- Exportación e importación: en este departamento se encuentran las personas que están a cargo de ver qué equipos son los que se deben de traer del extranjero según la demanda, tanto nacional como centroamericana y caribeña. Son los responsables de los equipos que se deben de exportar a estos países; para ello deben de ver costos de transporte y tiempos para cumplir con la demanda del cliente con sus equipos.
- Ventas: en este departamento se encuentran los vendedores responsables no solo de vender el equipo en el país sino también en Centroamérica y el Caribe, prestando asesoría técnica para recomendarle y garantizarle al cliente que tanto el equipo como el sistema de ventilación recomendado le será funcional; ellos deben de cotizar y entregar un reporte de ventas realizadas y posibles ventas a futuro, para poder tener los equipos a tiempo.
- Instalaciones: son las personas a cargo de la instalación física y eléctrica del equipo industrial vendido en toda la república de Guatemala, Centroamérica y el Caribe.

Figura 2. **Organigrama de Motores Eléctricos de Guatemala S.A.**



Fuente: elaboración propia.

### **1.1.7. Planta de distribución**

La planta de distribución se encuentra en parque industrial Unisur km. 19 carretera al Pacífico, destinada a la exportación e importación de equipos industriales de ventilación y motores eléctricos. Manejando únicamente las marcas Soler & Palau y US Motors. Esta planta de distribución exporta a toda Centroamérica y el Caribe, importando los productos desde México y muchas veces, incluso, desde España.

#### **1.1.7.1. Generalidades**

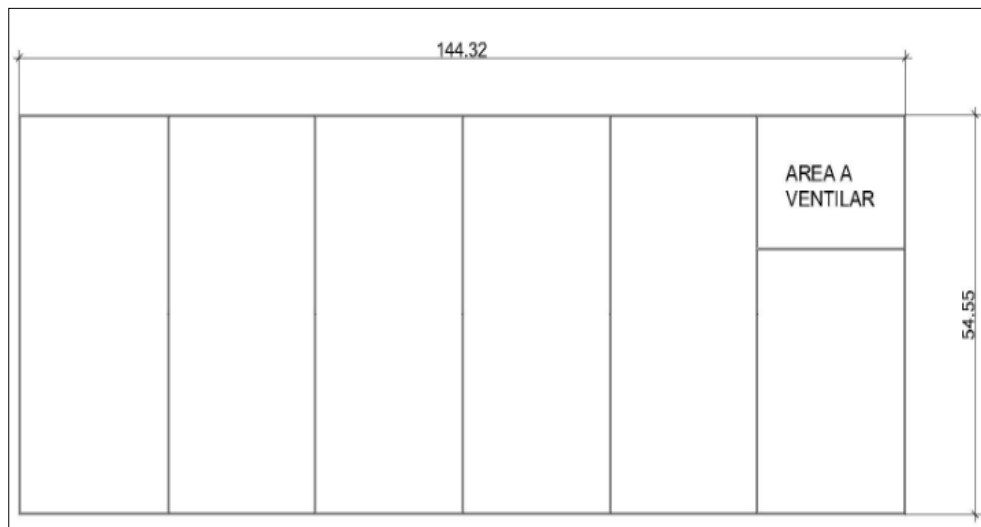
A continuación se presenta la ubicación de la planta de distribución de MOEGSA y el plano de la misma.

Figura 3. **Mapa de localización planta de distribución**



Fuente: [www.maps.google.com.gt/maps](http://www.maps.google.com.gt/maps), Consulta: julio de 2011.

Figura 4. **Plano de planta de distribución MOEGSA**



Fuente: MOEGSA, Departamento Administrativo, junio de 2011.

## **1.2. Sistema de climatización**

Para entender el funcionamiento de un sistema de climatización es necesario manejar ciertos conceptos.

### **1.2.1. Definición**

Un sistema de climatización es aquel que proporciona a un espacio las condiciones necesarias para obtener la temperatura y la humedad del aire, convenientes para la salud o la comodidad de sus ocupantes.

### **1.2.2. Ventilación**

A continuación se presentan los diferentes tipos de ventilación que existen y sus aplicaciones.

#### **1.2.2.1. Definición**

Es la técnica que permite sustituir el aire en el ambiente interior de un local, considerado inconveniente por su falta de pureza, temperatura inadecuada o humedad excesiva, por otro exterior de mejores características.

A los seres vivos, personas principalmente, la ventilación les resuelve funciones vitales como la provisión de oxígeno para su respiración y el control del calor que producen; a la vez que les proporciona condiciones de *confort* afectando a la temperatura del aire, su humedad, la velocidad del mismo y la dilución de olores indeseables.

A las máquinas e instalaciones y procesos industriales la ventilación les permite controlar el calor, toxicidad o el potencial explosivo de su ambiente. Según su aplicación y el tipo de contaminante la ventilación artificial puede ser general o localizada.

#### **1.2.2.1.1. Ventilación general**

Para ventilar un local por el sistema de ventilación general o ambiental lo primero que debe considerarse es el tipo de actividad de los ocupantes del mismo. No es lo mismo una oficina moderna, espaciosa y con bajo índice de ocupación, que una cafetería, sala de fiestas, un taller de confección o de pintura.

La razón de ventilar los ambientes humanos es la de proporcionar un ambiente higiénico y confortable a los ocupantes ya que se estima que pasan encerrados en locales un noventa por ciento de su tiempo. Hay que diluir el olor corporal, controlar la humedad, el calor, el humo de tabaco y la polución que desprenden los muebles, máquinas, suelos y paredes de los edificios, además de las resultantes de eventuales actividades industriales.

Una forma de proceder es calcular el caudal de aire necesario con base en el número de ocupantes y a razón a 7,5 litros por segundo y persona, para los casos normales en los que no sea significativa la polución provocada por elementos ajenos a las personas.

Pero si se hace difícil prever el número de ocupantes y se cree mejor referirse a la función del local, puede recurrirse al cálculo basado en el número de renovaciones/hora, esto es, las veces que debe renovarse por hora todo el volumen de aire del local.

Para su cálculo se determina primero el volumen (V) del local. Se escoge luego el número N de renovaciones por hora, según sea la actividad desarrollada en el local y se multiplican ambos.

$$\text{Caudal } Q \text{ (m}^3\text{/h)} = V \times N$$

Ejemplo:

Un restaurante medio cuyo comedor mide 15 x 5 metros, con una altura de 3m presenta un volumen de:

- $V = 15 \times 5 \times 3 = 225 \text{ m}^3$
- $N = 10$
- $Q = 225 \times 10 = 2,250 \text{ m}^3\text{/h}$

Si el local lo permite, se decidirá la disposición de colocar dos extractores de 1,200 m<sup>3</sup>/h cada uno en una pared, descargando directamente al exterior con dos o tres entradas de aire en la parte baja de la pared opuesta a la que se cerrará con persianas fijas antilluvia.

A los extractores se les colocará persianas de gravedad que se cierran automáticamente cuando se paran los aparatos, evitando la entrada de aire frío del exterior.

#### **1.2.2.1.2. Ventilación localizada**

Cuando se pueda identificar claramente el foco de contaminación el sistema más efectivo y económico es captar localmente la emisión nociva.

Figura 5. **Foco de contaminación**



Fuente: SOLER Y PALAU. Manual de ventilación. p. 4.

Debe procederse así:

- Identificar los puntos de producción del contaminante
- Encerrarlo bajo una campana
- Establecer una succión capaz de captar, arrastrar y trasladar el aire que posiblemente estará cargado de partículas

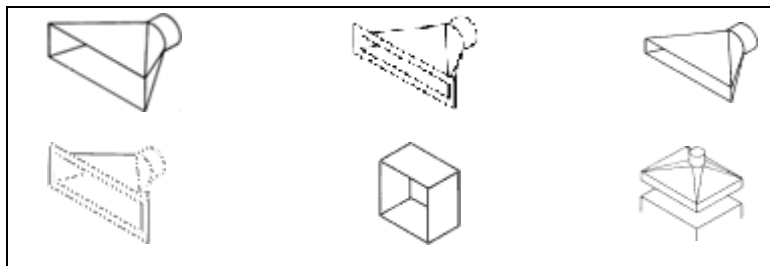
Los elementos básicos de una ventilación localizada, son:

- Captación
- Conducto o canalización
- Separador o filtro
- Extractor de aire

La captación tiene como misión atraer el aire junto con los contaminantes que contenga para trasladarlo al lugar de descarga. Los principios de diseño en captación dicen que el caudal varía aproximadamente con el cuadrado de la distancia, o sea que si la campana está a una distancia  $L$  del foco, necesitará

un caudal  $Q$  para captarlo y si se aleja a una distancia  $2L$ , el caudal necesario será  $4Q$ .

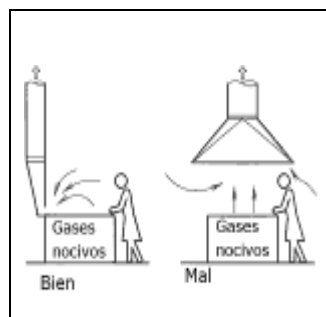
Figura 6. **Bocas de captación**



Fuente: SOLER Y PALAU. Manual de ventilación. p.5.

La figura 6 muestra algunos tipos de bocas para la captación de aire contaminado utilizadas en ventilación localizada, según sea el tipo de contaminante a captar. Sin embargo, cuando se trate de gases nocivos, la campana debe colocarse de modo que se evacúe fuera del espacio de respiración de los operarios tal y como se muestra en la figura 7.

Figura 7. **Evacuación de gases nocivos**

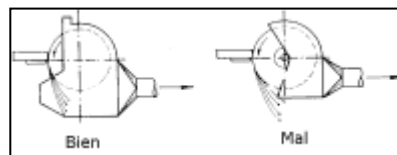


Fuente: SOLER Y PALAU. Manual de ventilación. p. 5.



La forma de evacuación dependerá del contaminante, tipo de boca de captación y diseño de evacuación, con el fin de que se cumpla siempre con el objetivo, tal y como se ve en la figura 8.

Figura 8. **Formas de evacuación**



Fuente: SOLER Y PALAU. Manual de ventilación. p.6.

Siempre que sea posible, las boquillas de extracción deben ser con brida, reduciendo aproximadamente en un 25% el caudal necesario.

### 1.2.2.2. **Ventilación industrial**

La ventilación industrial se basa en ventilar locales cuando estos, según normas y leyes en ventilación, no cumplen las condiciones necesarias para ellos mismos con su ventilación natural. Su fin es ventilar con equipo adecuado basándose en leyes tanto de seguridad y salud, como en las de los ventiladores mismos. Por consiguiente si se debe ventilar un ambiente industrial en el cual el proceso de fabricación genera un determinado tipo de contaminante (humo, calor, humedad, disolventes, entre otros) en cantidades molestas o perjudiciales y no es posible pensar en la utilización de sistemas de captación localizada para extraer el contaminante desde la fuente de producción.

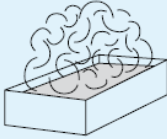

Como se puede observar en la tabla I, se debe recurrir al empleo de la ventilación ambiental para lograr unos índices de confort adecuados mostrados en la tabla II.

No existirán estándares obligatorios, pero sí criterios comúnmente aceptados, basados en aplicar un determinado número de renovaciones/hora al volumen considerado, que se usarán para la solución de este tipo de problemáticas.

En efecto, en función del grado de contaminación del local se deberá aplicar un mayor o menor número de renovaciones/hora de todo el volumen del mismo.

Ambas tablas se basan en criterios de seguridad e higiene en el trabajo y pretenden evitar que los ambientes lleguen a un grado de contaminación ambiental que pueda ser perjudicial para los operarios, pero sin partir ni del número de los mismos ni de criterios más científicos.

Tabla I. **Estándares para ventilación localizada**

Únicamente gases y vapores	Características de la fuente de contaminación	Ejemplos	Velocidad de captación m/s										
	Desprendimiento con velocidades casi nulas y aire quieto.	Cocinas. Evaporación en tanques. Desengrasado.	0,25 - 0,5										
	Desprendimientos a baja velocidad en aire tranquilo.	Soldadura. Decapado. Talleres galvanotecnia.	0,5 - 1										
	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Cabinas de pintura.	1 - 2,5										
	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Trituradoras.	1 - 2,5										
	Desprendimiento a alta velocidad en zonas de muy rápido movimiento del aire.	Esmerilado. Rectificado.	2,5 - 10										
<p>Se adoptarán valores en la zona inferior o superior de cada intervalo según los siguientes criterios:</p> <table border="0"> <tr> <td data-bbox="383 1629 440 1650">Inferior</td> <td data-bbox="873 1629 930 1650">Superior</td> </tr> <tr> <td data-bbox="383 1650 651 1671">1. Pocas corrientes de aire en el local.</td> <td data-bbox="873 1650 1122 1671">1. Corrientes turbulentas en el local.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="383 1671 634 1692">2. Contaminantes de baja toxicidad.</td> <td data-bbox="873 1671 1122 1692">2. Contaminantes de alta toxicidad.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="383 1692 634 1713">3. Intermitencia de las operaciones.</td> <td data-bbox="873 1692 1057 1713">3. Operaciones continuas.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="383 1713 691 1734">4. Campanas grandes y caudales elevados.</td> <td data-bbox="873 1713 1114 1734">4. Campanas de pequeño tamaño.</td> </tr> </table>				Inferior	Superior	1. Pocas corrientes de aire en el local.	1. Corrientes turbulentas en el local.	2. Contaminantes de baja toxicidad.	2. Contaminantes de alta toxicidad.	3. Intermitencia de las operaciones.	3. Operaciones continuas.	4. Campanas grandes y caudales elevados.	4. Campanas de pequeño tamaño.
Inferior	Superior												
1. Pocas corrientes de aire en el local.	1. Corrientes turbulentas en el local.												
2. Contaminantes de baja toxicidad.	2. Contaminantes de alta toxicidad.												
3. Intermitencia de las operaciones.	3. Operaciones continuas.												
4. Campanas grandes y caudales elevados.	4. Campanas de pequeño tamaño.												

Fuente: SOLER Y PALAU. Manual de ventilación. p.8.

Puede observarse que a medida que el grado de posible contaminación del recinto es mayor, se aumenta la cantidad de renovaciones a aplicar, siendo más difícil determinar con precisión cuál es el número exacto de renovaciones para conseguir un ambiente limpio con plenas garantías, por lo que será la propia experiencia lo que sirva de guía en casos como estos, especialmente si se alcanzan niveles de contaminación importantes.

**Tabla II. Estándares para ventilación ambiental**

Ambiente	Renovaciones/hora
Fábricas en general	5 - 10
Salas de juntas	5 - 8
Aparcamientos	6 - 8
Salas de baile clásico	6 - 8
Discotecas	10 - 12
Restaurante medio (un tercio de fumadores)	8 - 10
Gallineros	6 - 10
Clubs privados (con fumadores)	8 - 10
Café	10 - 12
Cocinas domésticas (mejor instalar campana)	10 - 15
Teatros	10 - 12
Lavabos	13 - 15
Sala de juego (con fumadores)	15 - 18
Cines	10 - 15
Cafeterías y Comidas rápidas	15 - 18

Fuente: SOLER Y PALAU. Manual de ventilación. p.9.

### **1.2.3. Ventilador**

Un ventilador, en la aceptación más amplia del vocablo, es una turbomáquina que recibe energía mecánica para mantener un flujo continuo de aire u otro gas a determinada presión.

#### **1.2.3.1. Generalidades**

Los ventiladores son máquinas rotatorias capaces de mover una determinada masa de aire a la que comunican una cierta presión, suficiente para que pueda vencer las pérdidas de carga que se producirán en la circulación por los conductos. Se componen de:

- Elemento rotativo: es la pieza del ventilador que gira en torno al eje del mismo. Puede ser una hélice o un rodete.
  - Hélice: se llamará así si la dirección de salida del aire impulsado es paralela al eje del ventilador (dirección axial). La hélice puede mover gran cantidad de aire comunicando al mismo una discreta presión.
  - Rodete: se llamará así si la dirección de salida del aire impulsado es perpendicular al eje del ventilador. Los rodetes mueven un volumen de aire menor que las hélices, pero con una presión mucho mayor.
- Soporte: en los ventiladores de hélice, generalmente, el conjunto se compone también de una embocadura campanada que mejora el rendimiento, mientras los ventiladores de rodete se montan en una voluta

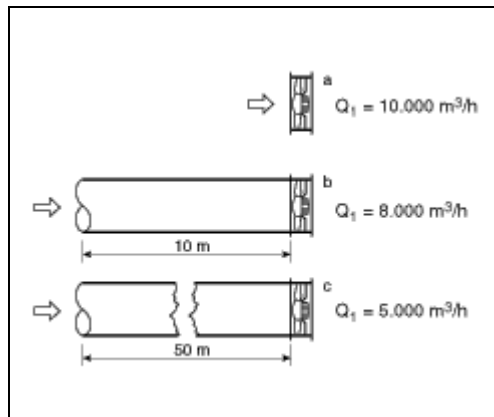
en espiral. Cuando se desea conseguir ventiladores con rendimiento por encima de los usuales, puede recurrirse a las directrices, que son unos álabes fijos, colocados a la entrada o salida del ventilador, cuya función principal es enderezar la vena de aire, haciéndola aproximadamente axial.

- Motor: el motor es el componente que acciona la hélice o rodete.

### 1.2.3.2. Curva característica

Para llegar al concepto y realización de la curva característica de un ventilador, se va a suponer un ensayo que conduzca hacia ello. Puede imaginarse un ventilador.

Figura 9. Esquema de un ventilador



Fuente: GREENHECK. El ventilador. p. 3.

- Posición a: que en descarga libre, proporcione un caudal  $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Se le acopla un conducto.

- Posición b: de 10 m de longitud, puede comprobarse que el caudal se ha reducido a  $Q = 8.000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Se alarga a continuación el conducto hasta 50 m y se mide el caudal.
- Posición c: de  $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Este experimento pone de manifiesto que, a medida que se aumenta la longitud del conducto acoplado, o sea que se incrementa la dificultad u obstrucción al paso del aire, disminuye el caudal que proporciona el ventilador.

Esta disminución a la que se llama pérdida de carga, es debida al rozamiento del aire con las paredes del conducto, a los cambios de dirección, torbellinos, contracciones de la vena fluida y otros accidentes u obstáculos en las canalizaciones.

Para poder disponer de los distintos caudales de que es capaz un ventilador según sea la pérdida de carga del sistema resistente contra el cual esté trabajando, se ensaya el aparato variándole la carga desde el caudal máximo al caudal cero. Todos los pares de valores obtenidos caudal-presión se llevan a unos ejes coordenados, obteniéndose la curva característica.

La figura 10 representa una curva característica, en la que se han graficado las presiones estáticas que generan las pérdidas de carga, dando así una curva de rendimiento mecánico del aparato.

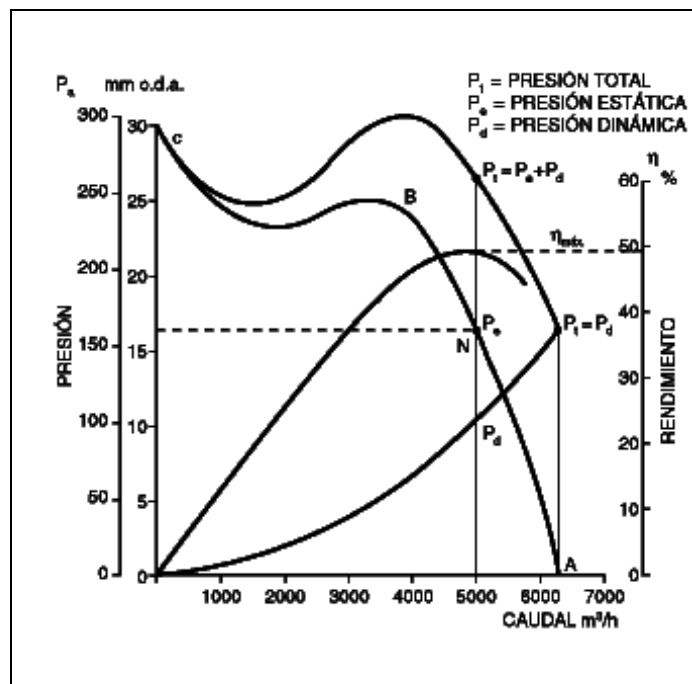
La característica de un ventilador es la mejor referencia del mismo, ya que indica su capacidad en función de la presión que se le exige.

El punto ideal de funcionamiento es el que corresponde a su máximo

rendimiento y es con el que debería coincidir el punto de diseño del mismo, el punto N en la figura 10.

La zona de trabajo idónea de un ventilador es el tramo que recorre desde A hacia B, de su curva característica. Entre B y C su funcionamiento es inestable, el rendimiento desciende rápidamente y aumenta notablemente el ruido. Por ello en muchos catálogos se representa solo el tramo eficaz de funcionamiento, obviando el tramo hasta la presión máxima de que es capaz. Se ve pues, que el ventilador es una máquina que utiliza la energía de que dispone, para vencer una pérdida de carga y para mover un caudal de aire.

Figura 10. Representación de una curva y las presiones estáticas



Fuente: GREENHECK. El ventilador. p. 7.

Como sea, ambas magnitudes están relacionadas de tal forma, que un aumento de la primera representa ineludiblemente una reducción de la segunda. Se reconoce la importancia que tiene decidir la configuración de un sistema de ventilación, de forma que exija la menor pérdida de carga posible, para así mover un mayor caudal de aire que, en definitiva es la misión primordial del ventilador.

### **1.2.3.3. Punto de trabajo**

Para conocer el punto en que trabajará un ventilador, una vez determinada la pérdida de carga que debe vencer el mismo, no hay más que, sobre el eje de ordenadas, señalar la pérdida de carga en milímetros columna de agua (mm.c.d.a.).

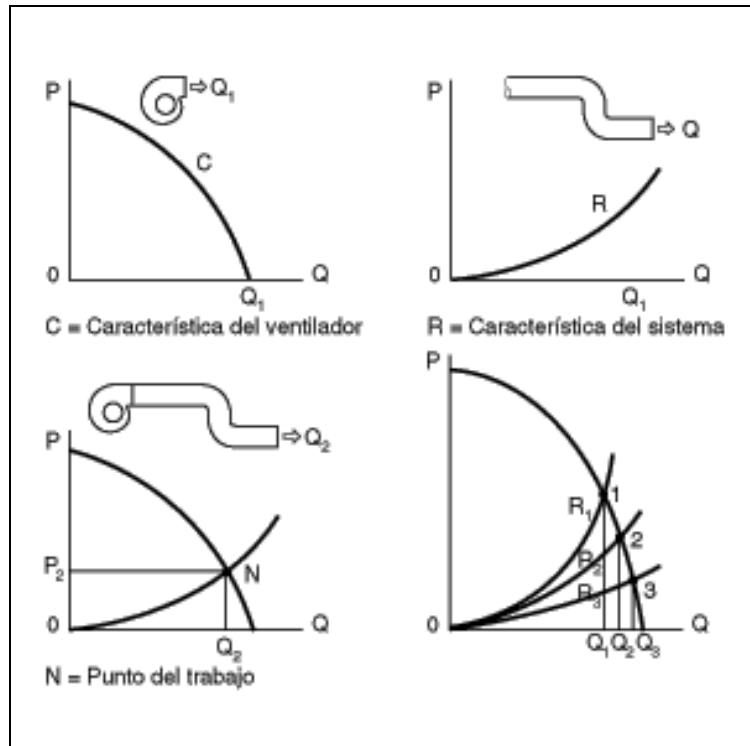
A partir de aquí y con una horizontal, se llegará a cortar la curva característica en un punto, a partir del cual y mediante una línea vertical se corta el eje de abscisas, en donde indicará el caudal que proporcionará el ventilador en cuestión, trabajando contra la pérdida de carga que se ha considerado inicialmente.

Por ejemplo: si el ventilador de la figura 10 debe vencer 16 mm c.d.a., a partir de este valor sobre el eje de ordenadas, con una horizontal se cortará la curva en el punto de trabajo N y de aquí, con una vertical, se encontrará el eje de abscisas en 5.000 m<sup>3</sup>/h, que es el caudal que dará el equipo.

Se dispone de la curva característica resistente del sistema de ductos, puede encontrarse de forma fácil el punto de trabajo de un ventilador acoplado al sistema de ductos, al superponer las curvas características del ventilador y del sistema de ducto, según se indica en la figura 11.



Figura 11. **Curvas características de un ventilador**



Fuente: GREENHECK. El ventilador. p. 11.

El punto de intersección de ambas dará el punto N de trabajo del ventilador. Si se desea construir la curva característica resistente del sistema, se debe partir de la base, que en las instalaciones de ventilación la pérdida de carga que se origina varía proporcionalmente al cuadrado, del caudal que fluye a través de la canalización.

$$P_{c2} = Q_2^2 / Q_1^2 \times P_{c1} \text{ mm c.d.a.}$$

Si se supone que para un caudal de aire de 6.000 m<sup>3</sup>/h la pérdida de carga que se origina es de 3,5 mm c.d.a., la pérdida de carga que provocará un caudal de 8.000 m<sup>3</sup>/h se encontrará mediante esta expresión:

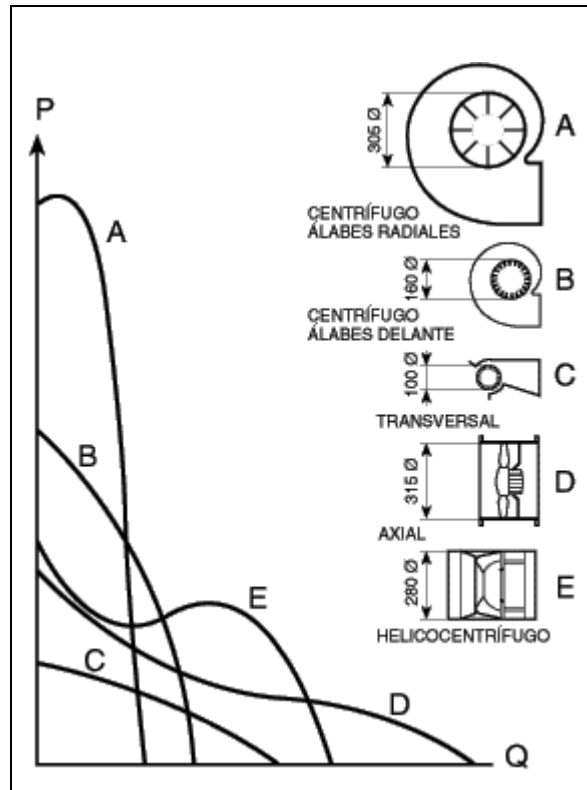
$$P_c = 8,000^2 / 6,000^2 \times 3,5 = 6,2 \text{ mm c.d.a.}$$

Llevando estos valores, más otros que se calculen del mismo modo, sobre unos ejes coordinados, se obtendrá la característica del sistema, que reviste la forma R de la figura 11.

De todo lo expuesto puede concluirse que es indispensable disponer de las curvas características de los ventiladores, susceptibles de ser instalados para cualquier cálculo e instalación que se haga, tomando en cuenta lo siguiente:

- Las curvas deben estar avaladas por el fabricante, quien las garantizará haciendo referencia a la norma y disposición adoptada para su determinación.
- Las curvas características de ventiladores se obtienen en laboratorios de ensayos debidamente equipados y por analistas especializados. Ello supone la sujeción a procedimientos según normalizaciones oficiales y aparatos, túneles y cámaras calibradas. La máxima garantía se obtiene cuando el laboratorio cuenta con una acreditación oficial.

Figura 12. **Curvas características**



Fuente: GREENHECK. El ventilador. p. 12.

#### 1.2.4. **Mantenimiento**

El servicio de mantenimiento tiene como objeto conservar en perfecto estado de funcionamiento todos los elementos productivos de la empresa. Un buen servicio de mantenimiento busca reducir al mínimo los paros inesperados en la maquinaria, los cuales repercuten directamente en la producción e indirectamente en todos los ámbitos de la empresa.

Regularmente, el costo que implican los paros inesperados en máquinas de industrias de producción masiva o moderadamente masiva, suelen sobrepasar en gran medida a los costos de operación de un programa de mantenimiento debidamente organizado y ejecutado. Sin embargo, el exceso en mantenimiento preventivo y predictivo ocasionaría costos innecesarios. El balance que debe existir entre estas dos variables, es necesario que obtenga un sano y fluido funcionamiento de la planta de producción.

El mantenimiento puede clasificarse en:

- Correctivo: es el mantenimiento que se aplica para corregir una falla imprevista o prevista.
- Preventivo: es el tipo de mantenimiento que se aplica de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes o la experiencia del personal de mantenimiento.
- Predictivo: este tipo de mantenimiento se aplica para detectar las fallas desde sus inicios y vigilar su desarrollo.
- Programado: se recomienda la aplicación de un programa de mantenimiento predictivo basado en vibraciones, ya que es la forma más efectiva para determinar las condiciones en que una máquina se encuentra trabajando sin necesidad de pararla. Los programas de mantenimiento predictivo basados en vibración permiten detectar e identificar cualquier problema en su primera etapa de formación y vigilar su desarrollo antes de que ocurra una avería. Esto permite programar su reparación evitando paros imprevistos o de emergencia y evita

reparaciones innecesarias que consecuentemente redundan en costos de producción.

### **1.3. Lavadora de aire industrial**

El equipo a utilizar para el sistema de climatización propuesto es una lavadora de aire industrial.

#### **1.3.1. Información general**

Las lavadoras industriales o bien equipos de enfriamiento evaporativo, con independencia de cuales sean sus modalidades y características específicas, incorporan una superficie de intercambio de calor y masa humedecida mediante un dispositivo de distribución de agua, un sistema de ventilación (natural o forzada) encargado de favorecer y en su caso forzar el paso del aire ambiente a través de la sección de intercambio de calor, masa y diferentes componentes auxiliares, tales como la balsa colectora de agua, bomba de recirculación, eliminadores de gotas e instrumentos de control.

El enfriamiento evaporativo es un proceso natural que utiliza el agua como refrigerante y que se aplica para transmitir a la atmósfera el calor excedente de diferentes procesos y máquinas térmicas. En él se basa el funcionamiento de diferentes equipos, entre ellos los ya mencionados, como las torres de enfriamiento y los condensadores evaporativos frecuentemente utilizados para la condensación del gas refrigerante en las instalaciones frigoríficas, destinadas a diferentes aplicaciones: refrigeración industrial, comercial, aire acondicionado, calefacción (por bomba de calor), entre otras.

En estas instalaciones los equipos de enfriamiento evaporativo liberan el calor de condensación de las máquinas frigoríficas, transfiriéndolo a la atmósfera mediante la evaporación de una reducida cantidad de agua. Este proceso se hace efectivo gracias al establecimiento de un contacto máximo y directo entre el agua en circulación y una corriente de aire mediante una sección con la que se intenta maximizar la superficie y tiempo de contacto entre dichos fluidos, favoreciendo el intercambio de calor y masa entre ellos.

### **1.3.2. Características y detalles**

Las lavadoras de aire industrial están conformadas por componentes que dan al conjunto excelentes características de eficiencia y operación. Entre las partes a resaltar se encuentra el ventilador.

Estos equipos se fabrican en lámina galvanizada y adicionalmente se les da un recubrimiento de pintura electrostática poliéster horneada, lo cual les da una gran resistencia en contra de agentes corrosivos extremos.

Los ventiladores están diseñados para brindar gran eficiencia y confiabilidad en aplicaciones de suministro de aire, aún venciendo medianas presiones estáticas.

El rodete de álabes curvos adelantados, es especial para manejar grandes cantidades de caudal manteniendo un bajo consumo de energía, ya que el diseño del álabe está concebido para minimizar las pérdidas por turbulencias del aire y generar un mínimo nivel sonoro. Los álabes se encuentran fijos en sus extremos por anillos de acero reforzado, uniéndose en su parte central a un disco doble.

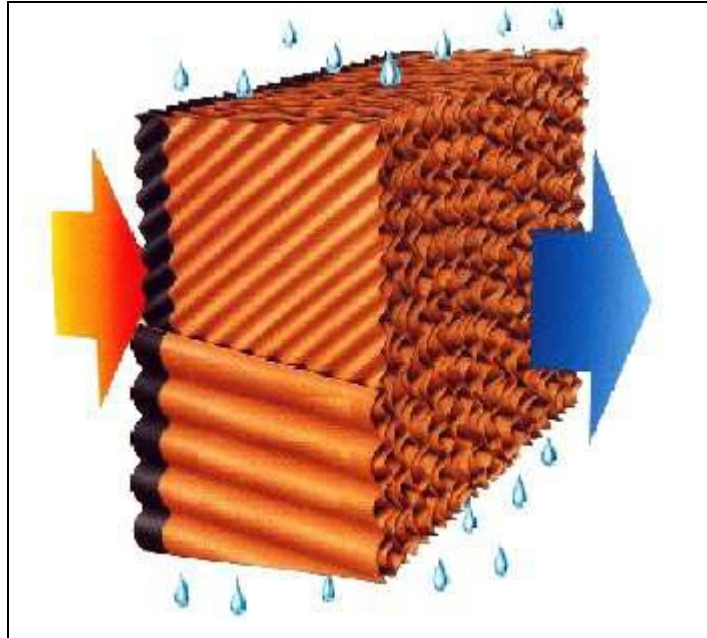
### **1.3.3. Panel de enfriamiento evaporativo**

El producto de enfriamiento evaporativo es fabricado a partir de un papel especial de celulosa, que está impregnado con sales no solubles y con saturantes endurecedores. El diseño exclusivo de este producto con canales cruzados produce un alto nivel de contacto, para favorecer la mezcla de aire y agua y obtener transferencia óptima de calor y de humedad con eficiencia más alta de enfriamiento, de hasta un 90% mayor en el rango de la velocidad de 2-2.5 m/s (400-500 ft/min).

Debe tomarse en cuenta lo siguiente:

- Es posible aplicarse con una velocidad frontal mucho mayor: Debido a su diseño especial, el panel permite manejar la velocidad del aire sin que se expulse el agua fuera del relleno, de aproximadamente 3.5 m/seg (700 ft/min).
- Diseño del panel autolimpiante: al panel no le afecta el polvo o arena atmosférica. Cuando se conecta la circulación del agua, especialmente sin que haya flujo de aire, el agua enjuaga las áreas de la superficie, siendo mayor el arrastre en el lado de la entrada, que es el área en donde normalmente se acumula la basura. Esto también sirve para que no se acumulen los minerales.
- Mantenimiento mínimo, lo que resulta en bajo costo operativo. El relleno actúa como un limpiador automático del tipo filtro de aire y limpiador de gases.

Figura 13. **Panel de enfriamiento evaporativo**



Fuente: GREENHECK. El ventilador. p. 9.

#### 1.3.4. **Despiece de equipo**

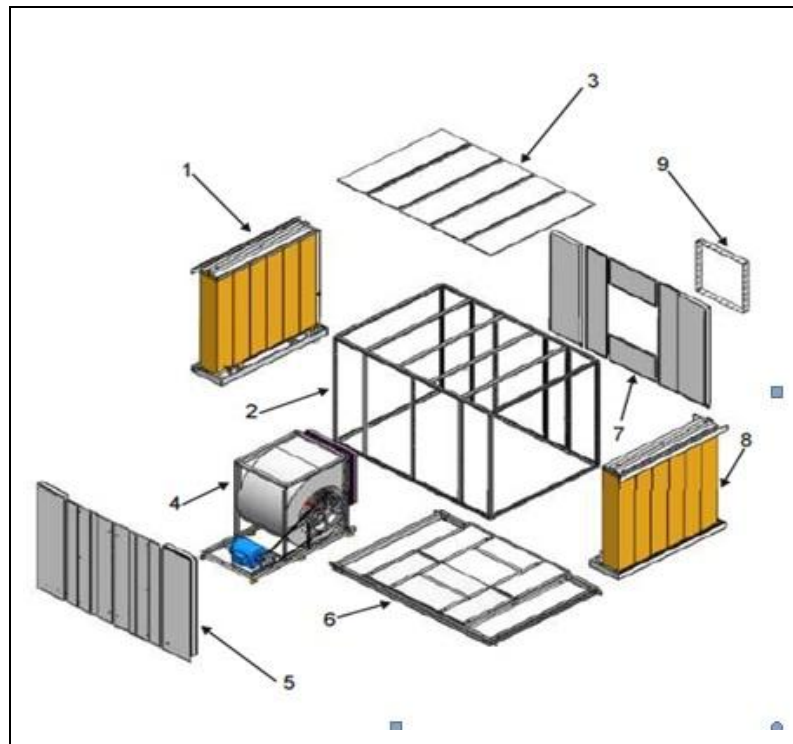
Se presenta a continuación el despiece del equipo, el orden del listado corresponde a la numeración en la figura 14.

- Conjunto sistema hidráulico (panel-charola)
- Perfiles
- Paneles para el techo
- Ventilador de alabes adelantados
- Estructura de paneles
- Conjunto bastidor piso
- Estructura de paneles



- Brida para descarga
- Conjunto sistema hidráulico (panel-charola)

Figura 14. **Despiece de equipo**



Fuente: SOLER Y PALAU. DAL, enfriamiento evaporativo. p. 2.

### 1.3.5. **Características constructivas**

El equipo está integrado por:

- Conjunto bastidor: fabricado en lámina galvanizada con acabado de pintura en polvo electrostática horneada, y distribuido en toda la periferia del equipo.

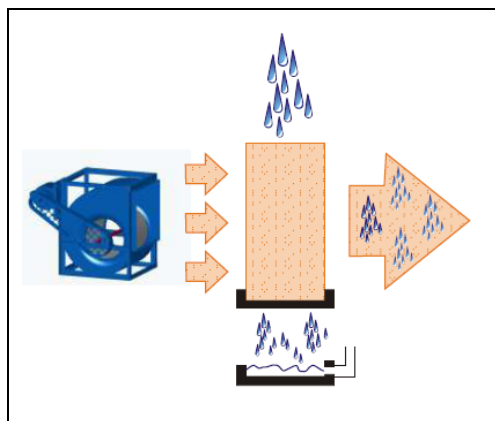
- Panel: de enfriamiento con recubrimiento antialgas.
  
- Accesorios incluidos:
  - Bisagras en puertas de inspección
  - Cierres hexagonales para puertas
  - Bombas
  
- Charola de condensado estándar: fabricada en resina poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio, resistente a la corrosión y gran resistencia al impacto. Recubierto con acabado, material utilizado para dar características de calidad a la superficie de un material compuesto con fibra reforzada, dando como resultado un acabado pigmentado y brillante. Fabricación especial bajo pedido en acero inoxidable calibre 20.
  
- Accesorios opcionales
  
- Malla de aspiración: lámina desplegada, perforada, galvanizada y con acabado en pintura en polvo electrostática.
  - Persiana en succión: lámina galvanizada
  - Charola de condensados en acero inoxidable
  - Malla de aspiración
  
- Ventilador: de alta eficiencia, fabricado en lámina galvanizada, con acabado en pintura en polvo electrostática horneada.
  
- Paneles, perfiles y piso: fabricados en lámina galvanizada, con acabado en pintura en polvo electrostática horneada.

### 1.3.6. Refrigeración y humidificación por evaporación

El fundamento de este proceso consiste en que con un ventilador se hace pasar el aire seco y caliente por un panel que está impregnado de agua; al estar en contacto, el aire cede calor y el panel desprende vapor de agua, con ello se baja la temperatura del aire. Si se observan en las temperaturas seca y húmeda de los termómetros de un psicrómetro, se verá que normalmente una de ellas, la del termómetro húmedo, es inferior a la temperatura ambiente que indica el termómetro seco.

Este fenómeno indica que teóricamente, si se hace entrar en contacto el aire con un cuerpo empapado de agua, se puede conseguir disminuir su temperatura hasta la indicada por el termómetro húmedo. Una explicación elemental de este fenómeno reside en el hecho de que, para evaporar el agua necesaria que sature el aire de humedad, es imprescindible aportar el calor de evaporación para conseguir transformarla en vapor de agua y este calor solo puede proporcionarlo el mismo aire, con lo que disminuye su temperatura.

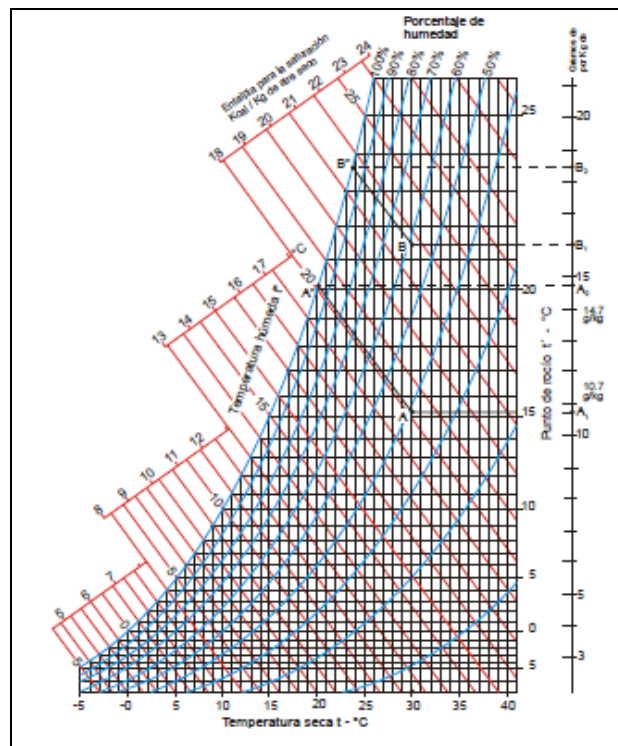
Figura 15. **Diseño de enfriamiento evaporativo**



Fuente: SOLER Y PALAU. DAL, enfriamiento evaporativo. p. 2.

La disminución de la temperatura se consigue a costa del aumento de la humedad del aire y que el efecto refrigerador de este tipo de proceso es tanto más eficiente cuanto más seco es el clima. Otra característica que se debe tener en cuenta es que, debido al aumento de la humedad del aire, la capacidad de disipación de calor del cuerpo humano que se produce, principalmente gracias a la transpiración, disminuye.

Figura 16. **Refrigeración y humidificación por evaporación**



Fuente: SOLER Y PALAU. DAL, enfriamiento evaporativo. P. 18.

## **2. SITUACIÓN ACTUAL EN LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN**

### **2.1. Planta de distribución**

Se describirá la infraestructura del edificio en el cual se instalara el equipo de climatización, tomando en cuenta dimensiones, diseños, entre otros.

#### **2.1.1. Área construida y techada**

El área construida y techada de toda la planta abarca de igual manera oficinas administrativas del lugar. Se puede observar en la figura 3, que el área consta de 6 naves que en total cubre un área de 144,32 X 54,55 m<sup>2</sup>.

##### **2.1.1.1. Dimensiones del terreno**

El terreno, como se ve en figura 3, tiene un total de 7 875 m<sup>2</sup>. Sin embargo, para fines técnicos, se necesita únicamente las dimensiones del área a climatizar dado el caso y bien que sea una área separada de otra. Cada nave tiene las dimensiones de 54m X 24m y todas en total tienen una altura promedio de 5.5 metros.

La parte de nave a ventilar cuenta con pared de tabla yeso y cielo falso, teniendo las dimensiones de 18m X 24m, siendo esta el área a climatizar.

### 2.1.1.2. Diseño de infraestructura

Es muy factible examinar todo lo relacionado con la infraestructura general de la planta y en el mejor caso, también la actividad interna de la misma. Se puede examinar de la siguiente manera:

Tabla III. Infraestructura de la planta

Objeto	Material	Observaciones
Techo	Lámina galvanizada (no termoacústica) sobre estructura de costanera y viga tipo I.  Cielo falso	Según estudios, la lámina produce en el interior un calor sensible mayor que otros materiales para techos. Permite asilar ruido y temperatura que maneja el resto de áreas.
Paredes	Estructura de hierro con vigas tipo I, cubiertas con planchas prefabricadas de concreto.	Estas paredes no permiten la correcta evacuación de temperatura interna al ambiente.
Piso	Fundición de concreto	Ninguna
Maquinaria industrial	Maquinaria liviana y pesada, con motores de hasta 30 HP y compresores de 100 HP.	Es importante considerar los grados de temperatura que estos pueden estar ocasionando.
Actividad humana	Es considerada liviana	No se considera foco de calor debido a la poca intensidad.
Temperatura ambiente	Situado entre ciudad y costa.	Se manejan temperaturas de 25 ° hasta 38° C.

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.1.3. Diseño de techos**

El diseño de techos es de dos aguas en cada dos naves de la planta. Se climatizará una nave como se señaló anteriormente; lo que indica que se tomará como un lugar con techo a una agua. El material del techo es de lámina galvanizada y lámina transparente, apoyados sobre estructura de costanera y viga tipo I.

Es muy importante siempre ver el diseño del techo y la carga máxima que este soporta, pues si se desea montar un equipo sobre él, este debe estar diseñado o bien reforzarse para soportar la carga del mismo, tomando en cuenta altas velocidades de viento y peso de agua que se pudiera estancar en el mismo, por lo que se recomienda hacer un estudio profundo en cuanto al material de techo, cargas soportadas, entre otros.

### **2.1.2. Situación interna**

Para climatizar un espacio es muy importante hacer una evaluación interna sobre las condiciones laborales o bien ambientales del mismo, tales como ventilación, temperatura, humedad, ruido, olores e incluso leyes ambientales que puedan perjudicar al momento de querer implementar un sistema. Para el caso de la planta de distribución, se evaluarán algunas de las condiciones mencionadas.

#### **2.1.2.1. Ventilación**

Cuando la importancia del edificio no justifica el empleo de instalaciones complejas, pueden emplearse soluciones naturales para mantener las

condiciones de salubridad. Para ello es conveniente valerse de ventilación natural y mecánica.

La ventilación natural se realiza mediante la renovación del aire de modo espontáneo como ventanas, puertas, circuladores de aire, entre otros.

En el caso de ventilación mecánica, esta permite ventilar y asegurar la correcta renovación del aire que se fija de acuerdo con el número de personas y volumen del ambiente. Puede realizarse mediante:

- Extracción del aire
- Impulsión del aire filtrado
- Mediante la combinación de los anteriores

La preparación del aire a introducir en un local constituye una necesidad a tener en cuenta para las instalaciones de acondicionadores de aire o ventilación, a efecto de lograr un aire saludable; se maneja en función de dos conceptos:

- Separar cuerpos extraños, gases y vapores (purificación química)
- Purificación biológica: cuando mediante el control del aire y su temperatura, se eliminan las bacterias y los microbios del aire.

En el caso particular de la planta no se cuenta con ventilación mecánica y el único recurso de ventilación natural es la puerta de cada bodega. Como bien se explicó, se necesita tanto de una entrada como de una salida de aire, por lo que la misma no se hace suficiente, siendo necesaria también una evaluación de la temperatura, ruido e incluso humedad.



### **2.1.2.2. Temperatura**

Se sabe bien que la temperatura de un local está expuesta a la temperatura ambiente, la actividad interna y la infraestructura del mismo. Por lo que se evalúan como se muestra a continuación.

La planta de distribución según su diseño tiene techo de lámina y no es termoacústica por lo que el calor y el ruido penetran bastante en cada bodega de la planta.

En la planta de distribución la actividad humana o de maquinaria es mínima. Se encuentran grandes cantidades de maquinaria industrial sin funcionar, sin embargo ya que hay demasiada maquinaria, hace un calor latente excesivo en la misma, por lo que se recurre a un diagnóstico técnico.

Según especificaciones de almacenamiento para ventiladores industriales y motores, la temperatura debe permanecer constante a 24 grados centígrados, como máximo.

### **2.1.2.3. Ruido**

Se definirá previamente algunas de las características de los sonidos. El ruido no es más que un sonido desagradable.

Un sonido determinado viene caracterizado por tres cualidades: intensidad, tono y timbre.

- La intensidad se refiere a la potencia sonora; es decir un sonido más o menos intenso.

- El tono es la cualidad que nos permite distinguir entre sonidos agudos y graves.
- El timbre se refiere a la composición del sonido; es la cualidad que permite distinguir la voz de las personas.

La molestia producida por un ruido depende de estas tres cualidades y de la naturaleza de las personas. La sensibilidad auditiva depende fundamentalmente de la frecuencia del sonido que se percibe y es diferente para cada persona.

Lo que preocupa a cualquier persona ante el proyecto de una instalación en la que intervienen ventiladores, es el ruido que pueda causar un ventilador. Dado que el ruido existe siempre a nuestro alrededor, quizá lo más importante sea determinar no el ruido de un aparato en sí, sino el aumento de molestia que se produce sobre el ruido ya existente, al poner en marcha un ventilador. Sin embargo, se debe de realizar un estudio sobre la intensidad del sonido dentro y fuera de la planta.

El decibelímetro se utilizó para medir la intensidad en diferentes horas. La evaluación se hizo antes de medio día, la que indicó 65 decibeles y después de mediodía 68 decibelios; por lo que a partir de ello se obtiene un promedio de la intensidad acústica dentro de la planta de 66.5 db.

### **2.1.3. Situación del entorno urbano**

Los factores a evaluar del entorno urbano deben de ser: la humedad, temperatura, ruido y olores.

### 2.1.3.1. Humedad

De acuerdo con la regla de Dalton, la presión total de la mezcla es igual a la suma de las presiones parciales a la que se encuentra cada una de las sustancias; la presión parcial de cada componente está en función del contenido de esta sustancia en la mezcla.

Finalmente, la presión total de la mezcla será la suma de las presiones parciales de los componentes. Si se simplifica que los gases que contiene el aire son un componente de aire seco (a) y la otra componente es el vapor de agua (w), entonces:

$$P = P_a + P_w$$

De acuerdo con lo anterior, la humedad es el vapor de agua contenido en el aire seco; también es llamada la humedad absoluta. Idealmente, el aire seco tiene cero unidades de humedad.

Se mide en unidades de masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco. En el sistema internacional, g (gramos) de vapor de agua por Kg (kilogramo) de aire seco.

Debido a que no es una medida práctica para fines de cálculo o referencia de los mismos, se define la humedad relativa ( $\phi$ ) como la relación de la presión parcial del vapor de agua ( $P_w$ ) respecto de la presión parcial del vapor en condiciones de saturación ( $P_g$ ).

$$\phi = P_w / P_g$$

Con los balances de masa y energía, la termodinámica establece ecuaciones que permiten calcular los cambios de estado de la mezcla aire y vapor de agua. Estos son representados en un diagrama llamado diagrama psicométrico que se acompaña en las presentes notas.

Al igual que la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, la humedad se mide con el psicómetro. Sin embargo en la figura 11 se presenta el porcentaje de humedad relativa que debe de haber en el ambiente, según la temperatura deseada y la de dicho ambiente.

### **2.1.3.2. Temperatura**

La temperatura del aire ambiente se mide tradicionalmente con un termómetro de columna de mercurio, el cual consiste en un tubo capilar de vidrio con un recipiente (bulbo) en la parte inferior. Al dilatarse el mercurio por efecto del incremento de la temperatura, la columna de mercurio en el espacio capilar crece y esto permite en una escala lineal, medir la temperatura.

Si se cubre el bulbo (recipiente) con el extremo de una gasa de algodón y el otro extremo se sumerge en un recipiente de agua limpia, por efecto de capilaridad el agua subirá y mojará toda la gasa, incluyendo la que envuelve el bulbo del termómetro.

Posteriormente, este dispositivo se somete a una corriente de aire ambiente no saturado de vapor de agua, lo que permitirá al aire tomar humedad de la gasa de algodón y como se mencionó en los primeros párrafos, el agua que se evapora tomará calor del aire y del dispositivo húmedo, disminuyendo la temperatura de ambos.

Esta temperatura comenzará a disminuir desde la temperatura del aire ambiente (bulbo seco), hasta el punto de equilibrio que corresponde al punto de saturación de la mezcla aire y vapor de agua. Esta temperatura que corresponde al 100 % de humedad es llamada la temperatura de bulbo húmedo. De esta manera, con un dispositivo de dos termómetros, uno con el sensor (bulbo) cubierto con una gasa con agua y otro solo (bulbo seco), se obtienen dos parámetros que permiten identificar el estado de la mezcla aire vapor de agua en el diagrama psicométrico.

Al igual que en el diagnóstico de la situación interna de la planta se debe de hacer un diagnóstico del ambiente, pues las máquinas de enfriamiento evaporativo toman aire del ambiente para introducirlo al lugar que se desea climatizar, por lo que se procede a tomar muestras de temperatura de bulbo seco y húmedo. Lo que indica el psicómetro es:

- Temperatura de bulbo seco (TBS)= 31 grados centígrados
- Temperatura de bulbo húmedo (TBH)= 17 grados centígrados

#### **2.1.3.3. Ruido**

La intensidad sonora ambiental se mide de modo que permite tener un control de cuanta intensidad; se puede manejar sin que las personas alrededor de la planta se vean afectadas por algún cambio de intensidad sonora dentro de la misma. En este caso el decibelímetro registró 78 dba.

#### **2.1.3.4. Olores**

Parte de la evaluación consiste en los olores del ambiente; el sistema de climatización requiere del ingreso de aire exterior, por lo que la percepción de

olores externos en el interior será inevitable. El objetivo de la evaluación es evitar la contaminación del aire en la planta.

## **2.2. Focos de calor**

Para evaluar la temperatura del ambiente se debe de tomar en cuenta los factores que contribuyen al aumento de esta.

### **2.2.1. Principales fuentes**

Como en todo diagnóstico, dado lo anterior, según la infraestructura, actividad laboral, maquinaria a utilizar, entre otras, se puede distinguir que la planta se ve afectada al calor latente según la ubicación y los objetos alrededor, también denominados focos de calor.

En este caso según el diseño de la infraestructura se dice que entre las principales fuentes de calor se encuentran:

- La lámina galvanizada del techo
- La maquinaria industrial de motores y compresores de mayor potencia
- La temperatura ambiente.

### **2.2.2. Medición de temperatura**

Se procede a tomar datos de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, de donde se obtiene que las condiciones de temperatura en la planta son:

- Temperatura de bulbo seco: 31°C
- Temperatura de bulbo húmedo: 17°C

### **3. PROPUESTA DE DISEÑO PARA IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN**

#### **3.1. Datos básicos**

Para iniciar cualquier diseño de un sistema de climatización es necesario tener ciertos datos básicos.

##### **3.1.1. Ubicación geográfica**

Es importante conocer la ubicación geográfica y las condiciones de temperatura y humedad de la zona en la cual se instalará el equipo, para identificar la siguiente información básica:

- Altitud sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)
- Temperatura de bulbo seco: DBT (°C)
- Temperatura de bulbo húmedo: WBT (°C)

Como se mencionó anteriormente, la planta de distribución se encuentra en el km 21 carretera al Pacífico, a 958 metros sobre el nivel del mar. Las condiciones psicométricas encontradas son las siguientes de acuerdo al psicómetro y el diagrama de refrigeración y humidificación por evaporación:

- Temperatura de bulbo seco: 31°C
- Temperatura de bulbo húmedo: 17°C
- Humedad relativa: 80%
- Punto de rocío: 25.0° C

### 3.1.2. Determinación de caudal

El caudal que se requiere en un sistema se puede determinar por medio de un estudio de cargas térmicas del local o por un método genérico de cambios de aire.

Para conocer el caudal de aire requerido por un sistema se puede usar la siguiente fórmula:

$$\text{CFM} = \text{BTU h} / ( 1.087 (\text{Temperatura deseada} - \text{Temperatura de salida del aire}))$$

#### 3.1.2.1. Cargas térmicas

En la actualidad, la mayoría de empresas no conocen la carga térmica total que genera su maquinaria o bien la que debido a la actividad humana se encuentra en el local. En vista a que el proceso se vuelve largo y complicado al deducir, se trabajan constantes de carga térmica  $\text{btu-h/m}^2$ , estándares según radiación solar, cantidad de personal y maquinaria industrial. Estas constantes de carga térmica establecidas son las siguientes:

Tabla IV. Constante de carga térmica

Btu-h /m <sup>2</sup>	Personal	Radiación solar	Maquinaria industrial
400	Poco	Poco	-
500	Alto	Poco	-
550	Alto	Alto	-
700	Alto	Alto	Sí

Fuente: elaboración propia.



En relación con el caso a estudiar se sabe que la planta de distribución tiene poco personal y alta radiación solar debido a su ubicación geográfica, por lo que la constante de carga térmica a utilizar será de 400 btu-h/m<sup>2</sup>. Es muy importante tomar nota de que la constante de carga térmica y la carga térmica no son lo mismo, por lo que no poseen las mismas dimensionales; se deduce de la siguiente manera:

$$\text{Carga térmica (Btu-h)} = \text{cte carga térmica (btu-h)} \times \text{área a enfriar (m}^2\text{)}$$

### **3.1.2.2. Cambios de aire**

Por este método es necesario conocer el volumen del área que se quiere acondicionar y multiplicarla por los cambios recomendados, que varían entre 15 a 25 renovaciones de aire por hora.

Es importante determinar correctamente la caída de presión del sistema contando las pérdidas por fricción en ductos, rejillas, compuertas, entre otras. Se hace la corrección correspondiente por diferencia de altitud, ya que las gráficas proporcionadas se encuentran en condiciones de nivel del mar (1.2 Kg/m<sup>3</sup>) y esto podría alterar el caudal.

### **3.1.3. Velocidad de paso y eficiencia de enfriamiento**

La velocidad de paso a través de los filtros así como el espesor de los mismos, son los factores que determinan la eficiencia de enfriamiento, es decir, la temperatura de salida del aire.

- Para determinar la velocidad de paso del aire a través del panel húmedo es necesario dividir el caudal entre el área de panel húmedo disponible

por equipo. El área del panel se encontrará en la tabla de características técnicas de los equipos, donde se debe tomar en cuenta que la velocidad máxima recomendada por filtro es de 550 FPM, para evitar arrastre de agua y tener una eficiencia satisfactoria.

- Una vez que se ha seleccionado el tamaño y espesor de la pared húmeda, se podrá conocer la eficiencia de enfriamiento y así determinar la temperatura de salida del aire mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Temperatura de salida (}^{\circ}\text{C)} = \text{DBT} - [ (\text{DBT} - \text{WBT}) * \text{E}\% ]$$

Donde:

DBT = Temperatura de bulbo seco exterior ( $^{\circ}\text{C}$ )

WBT = Temperatura de bulbo húmedo ( $^{\circ}\text{C}$ )

E% = Eficiencia del panel

#### **3.1.4. Determinación del agua evaporada**

El agua normal que se suministra a un equipo de enfriamiento evaporativo, contiene materiales disueltos como calcio, sodio, sílice, entre otros. Cuando la evaporación toma lugar la concentración de los minerales comienza a incrementarse.

Para compensar el agua evaporada, agua nueva debe suministrarse al equipo. Sin embargo, mucho de este material mineral e impurezas se empiezan a acumular en el panel, aumentando la caída de presión y disminuyendo la eficiencia. Por ello es que una parte del agua de recirculación debe ser drenada y sustituida por agua nueva para disminuir la concentración.

Las pérdidas de agua por evaporación y por el drenado que se realiza, deben ser reemplazadas por agua limpia y nueva.

El agua que logra escapar en forma de vapor, se calcula de la siguiente forma, según las unidades que se emplean:

$$\text{Evaporación (litros / hora )} = - \text{CFM} * ( \text{DBT} - \text{WBT} ) * \text{E\%} / 1222$$

### **3.1.5. Cálculos básicos**

Se deben de obtuvieron los siguientes datos con la ayuda del termómetro y los datos presentados en la figura 15:

- Altitud sobre el nivel del mar: 958 m.s.n.m.
- Temperatura de bulbo seco: 31°C
- Temperatura de bulbo húmedo: 17°C
- Punto de rocío: 25°C
- Humedad relativa: 80 %
- Eficiencia del panel: 89 %

Para la determinación de la constante de carga térmica se utiliza el siguiente criterio:

- 400 BTU por metro cuadrado para instalaciones con poco personal y poca radiación solar.
- Área a ventilar: 18mX24m = 432 metros cuadrados

- Cálculo de la carga térmica:

$$\text{BTU} = 400 \text{ (BTU-hr/m}^2\text{)} * 432 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{BTU} = 172,800 \text{ BTU-hr}$$

- Cálculo de la temperatura de salida:

$$\begin{aligned} \text{Temperatura de salida (}^\circ\text{ C)} &= \text{DBT} - [ (\text{DBT} - \text{WBT}) * \text{E}\% ] \\ &= 31 - [(31 - 17) * 0.89] \\ &= 18.54 \text{ }^\circ\text{ C} \end{aligned}$$

- La temperatura deseada que se utilizará será de 24 ° C, debido a lo indicado en la carta psicométrica; debido a que el sistema trabaja con un proceso ideal de entalpía constante, por lo que se desplaza hacia la máxima humedad relativa sugerida para el *confort* de las personas, que es 80%, entonces puede comprobarse que este es el mínimo de temperatura que se puede trabajar.

$$\text{CFM} = \text{BTU h} / ( 1.087 (\text{Temperatura deseada} - \text{Temperatura de salida del aire}))$$

$$\text{CFM} = 172,800 / (1.087 * (24 - 18.54))$$

$$\text{CFM} = 29,115.40$$

- Evaporación del agua

$$\text{Evaporación (litros / hora)} = (\text{CFM} * (\text{DBT} - \text{WBT}) * \text{E}\%) / 1222$$

$$\text{Evaporación (litros / hora)} = (29,115.40 * (31-17) * 0.89) / 1222$$

$$\text{Evaporación (litros / hora)} = 296$$

### **3.2. Diseño del sistema**

Para el diseño del sistema de climatización se seleccionará el modelo del equipo y el sistema de ductos que se adapte a las necesidades.

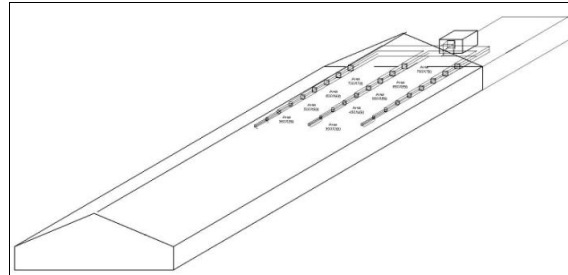
#### **3.2.1. Sistema de ductos**

Para el diseño del sistema de ductos se debe de verificar la distribución de caudal que se requiere, el dimensionamiento del mismo y la caída de presión.

##### **3.2.1.1. Distribución del caudal de aire**

Como se puede ver el caudal total a manejar es de 29,115 cfm, lo que es igual a 49,495 m<sup>3</sup>/h. Para lograr una mejor distribución del caudal se manejarán 3 ductos distintos a lo largo de los 24 metros de ancho que tiene cada nave. Cada ducto tiene 9 tramos diferentes, cada uno con 2 metros de largo; cuentan con una rejilla sobre el cielo falso. Estos ductos están distribuidos a lo largo de los 18 metros del área mencionada.

Figura 16. **Diseño de ductos**

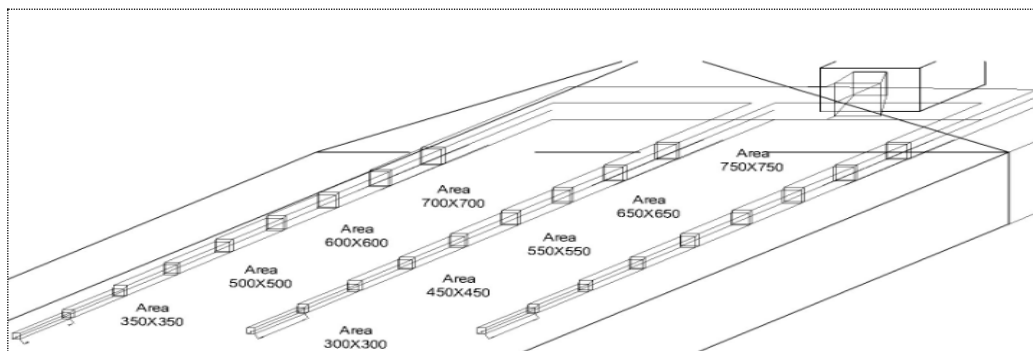


Fuente: elaboración propia, con base al programa de Autocad.

### 3.2.1.2. **Dimensionamiento de ductos y conexiones**

El dimensionamiento de ductos se realiza de acuerdo con el criterio de distribución de caudal a través del programa DuctuladorEasy-Vent. El programa permite ingresar el caudal que se maneja en cada tramo, longitud y codos del mismo. En cuanto a dimensiones se obtuvo lo siguiente:

Figura 18. **Dimensionamiento de ductos**



Fuente: elaboración propia, con base al programa de Autocad.

### 3.2.1.3. Cálculo de caída de presión

Con el programa DuctuladorEasy-Vent de igual forma se calcula la caída de presión que tendrá el sistema, como se ve a continuación:

Figura 19. Cálculo de presiones

Cálculo de conductos

Punto de trabajo a 20°C y nivel del mar.

Datos instalación				Detalle de tramos							
Item	Diametro	Altura	Anchura	Q	Q Acum	Longitud	N.Codos	Velocidad	Pdc.	Pdc.Acum.	
	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /h)	(m <sup>3</sup> /h)	(m)		(m/s)	(mm c.a.)	(mm c.a.)	
Tramo (1)	328	300	300	1833	1,833	2	0	6.0	1.4	1.4	
Tramo (2)	383	350	350	1833	3,666	2	0	8.9	0.5	1.9	
Tramo (3)	492	450	450	1833	5,499	2	0	8.0	0.5	2.4	
Tramo (4)	547	500	500	1833	7,332	2	0	8.7	0.3	2.7	
Tramo (5)	601	550	550	1833	9,165	2	0	9.0	0.3	3.0	
Tramo (6)	656	600	600	1833	10,998	2	0	9.0	0.3	3.2	
Tramo (7)	711	650	650	1833	12,831	2	0	9.0	0.2	3.5	
Tramo (8)	765	700	700	1833	14,664	2	0	8.9	0.2	3.7	
Tramo (9)	820	750	750	1833	16,497	7	2	8.7	3.4	7.1	

Diámetro: 0    Altura: 750    Anchura: 750    Caudal: 1833    Longitud: 7    N.Codos: 2

Caudal total: 16,497

Pérdida de carga: 9.1

Añadir    Insertar    Cancelar    Iniciar

Fuente: SOLER Y PALAU. Programa DuctuladorEasy-Vent. p.3.

La presión estática máxima que debe de vencer el equipo es de 9.1 mm c.d.a. para manejar un caudal de 49,491 m<sup>3</sup>/h, distribuido uniformemente en las tres ramas de ducto.

### 3.2.2. Selección de modelo

En la selección del modelo se utilizara la tabla de características técnicas que contiene todos los modelos de lavadoras industriales para ver en cual se adecua más el sistema.

Tabla V. Características técnicas

Modelo	Potencia HP	Caudal real CFM/ m <sup>3</sup> /hr		Espesor de Panel in [mm]	Cantidad de paredes Panel	Área total de panel ft <sup>2</sup>	Modelo de bomba	Peso del equipo con agua s/ motor Lb
DAL 36	1 1/2	23400	39780	12 [ 304.8 ]	1	36	5-MSP <i>Little</i>	1449 Lb [ 657 Kg ]
	2	23400	39780	12 [ 304.8 ]	1	36	5-MSP <i>Little</i>	1449 Lb [ 657 Kg ]
	3	23400	39780	12 [ 304.8 ]	1	36	5-MSP <i>Little</i>	1449 Lb [ 657 Kg ]
	5	23400	39780	12 [ 304.8 ]	1	36	5-MSP <i>Little</i>	1449 Lb [ 657 Kg ]
	7 1/2	23400	39780	12 [ 304.8 ]	1	36	5-MSP <i>Little</i>	1449 Lb [ 657 Kg ]
	10	23400	39780	12 [ 304.8 ]	1	36	5-MSP <i>Little</i>	1449 Lb [ 657 Kg ]
DAL 45	1	29250	49725	12 [ 304.8 ]	1	45	5-MSP <i>Little</i>	2120 Lb [ 961 Kg ]
	1 1/2	29250	49725	12 [ 304.8 ]	1	45	5-MSP <i>Little</i>	2120 Lb [ 961 Kg ]
	2	29250	49725	12 [ 304.8 ]	1	45	5-MSP <i>Little</i>	2120 Lb [ 961 Kg ]
	3	29250	49725	12 [ 304.8 ]	1	45	5-MSP <i>Little</i>	2120 Lb [ 961 Kg ]
	5	29250	49725	12 [ 304.8 ]	1	45	5-MSP <i>Little</i>	2120 Lb [ 961 Kg ]
	7 1/2	29250	49725	12 [ 304.8 ]	1	45	5-MSP <i>Little</i>	2120 Lb [ 961 Kg ]
DAL 72	5	46800	79560	12 [ 304.8 ]	2	72	5-MSP <i>Little</i>	2623 Lb [ 1190 Kg ]
	7 1/2	46800	79560	12 [ 304.8 ]	2	72	5-MSP <i>Little</i>	2623 Lb [ 1190 Kg ]
	10	46800	79560	12 [ 304.8 ]	2	72	5-MSP <i>Little</i>	2623 Lb [ 1190 Kg ]
	15	46800	79560	12 [ 304.8 ]	2	72	5-MSP <i>Little</i>	2623 Lb [ 1190 Kg ]
	20	46800	79560	12 [ 304.8 ]	2	72	5-MSP <i>Little</i>	2623 Lb [ 1190 Kg ]
DAL 96	10	62400	106080	12 [ 304.8 ]	2	96	5-MSP <i>Little</i>	4397 Lb [ 1994 Kg ]
	15	62400	106080	12 [ 304.8 ]	2	96	5-MSP <i>Little</i>	4397 Lb [ 1994 Kg ]
	20	62400	106080	12 [ 304.8 ]	2	96	5-MSP <i>Little</i>	4397 Lb [ 1994 Kg ]
	25	62400	106080	12 [ 304.8 ]	2	96	5-MSP <i>Little</i>	4397 Lb [ 1994 Kg ]
	30	62400	106080	12 [ 304.8 ]	2	96	5-MSP <i>Little</i>	4397 Lb [ 1994 Kg ]

Fuente: SOLER Y PALAU. DAL, enfriamiento evaporativo. p. 18.

### 3.2.2.1. Datos técnicos

El caudal máximo manejado por la lavadora modelo DAL 45 maneja como máximo un caudal de 49,725 m<sup>3</sup>/h a 0 mm c.d.a. por lo que se procede a evaluar un modelo más alto el DAL 72.



Tabla VI. **Características generales, DAL-72**

HP	(PRESIÓN ESTÁTICA) mmca – inwg									
	0.25" / 6.35 mm		0.375" / 9.525 mm		0.500" / 12.7 mm		0.625" / 15.875 mm		0.75" / 19.05 mm	
	RPM	CFM	RPM	CFM	RPM	CFM	RPM	CFM	RPM	CFM
	dB(A)	m <sup>3</sup> /hr	dB(A)	m <sup>3</sup> /hr	dB(A)	m <sup>3</sup> /hr	dB(A)	m <sup>3</sup> /hr	dB(A)	m <sup>3</sup> /hr
5	260	21260	263	20798	276	20013	283	18815	300	17918
	70.4	36143	70	35357	73	34022	73	31985	73	30461
7 ½	305	25189	308	24958	312	24843	320	24060	332	23171
	74.0	42822	76	42428	77	42232	77	40901	77	39391
10	341	28471	342	28193	343	28061	344	27516	350	26377
	77	48400	79	47928	79	47704	79	46778	79	44842
15	415	33593	420	33476	424	33325	427	33344	412	32815
	80	57109	83	56909	83	56653	83	56684	83	55785
20	500	37767	483	37437	470	37173	465	37107	455	36909
	84	64204	85	63643	85	63194	85	63194	85	62745
30	508	40659	505	40475	502	40292	501	40200	502	40109
	85	69121	87	68808	87	68497	87	68341	87	68185

Fuente: SOLER Y PALAU. DAL, enfriamiento evaporativo. p. 19.

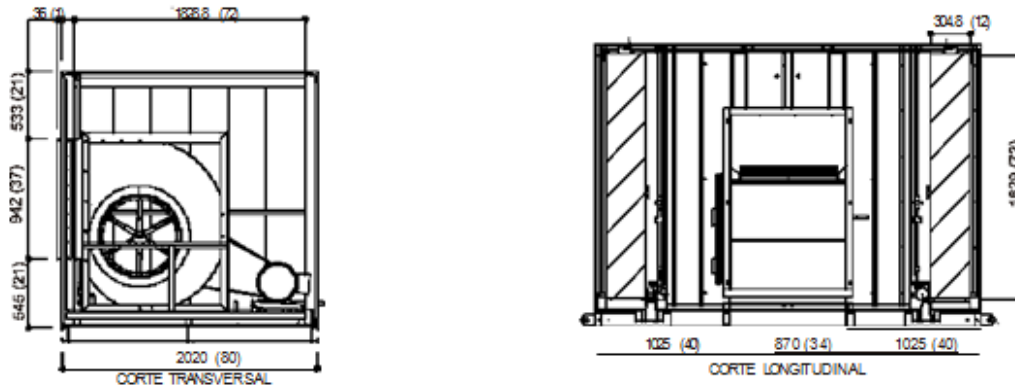
Se escogerá el equipo DAL-72 con motor de 10HP girando a 342 rpm. A continuación se detallan las características técnicas del equipo, la que muestra desde área filtrante hasta accesorios del mismo.

Tabla VII. Características principales, DAL-72

ESPECIFICACION						
ÁREA FILTRANTE	No. PAREDES	ÁREA DE	MARCA	TIPO	DESCRIPCIÓN	ESPEJOR
	2	72 ft <sup>2</sup> [ 6.69 m <sup>2</sup> ]	Celdek Munters	6590 MI-T-Edge	Panel con mayor vida útil por recubrimiento anti-algas,	12 in [ 304.8mm]
BOMBA	MODELO	TIPO	VOLTAJE		FRECUENCIA	POTENCIA
	5-MSP little Giant	Sumergible	ESTAN 127~ V	OPCION 230 ~V	60 Hz	1/6 HP
CONJUNTO	CAUDAL Máx	PRESIÓN EST.	POTENCIA		VELOCIDAD DE	RPM Máx
	46800 CFM [ 79560 m <sup>3</sup> /hr ]	1.5 inwg [ 38.1 mmca ]	14.91 Kw [ 20 HP ]		650 ft/min [ 3.30 m/seg ]	483
DIMENSIONES	LARGO		ANCHO		ALTO	PESO CON AGUA
	79.5 in [ 2020 mm ]		115 in [ 2920 mm ]		83.5 in [ 2122 mm ]	2623 Lb [ 1189.8 Kg ]
ACCESORIOS	LOUVER EN SUCCIÓN	MALLA DESPLEGADA EN SUCCIÓN	INTERRUPTOR DE NIVEL RS-5 LITTLE		TINA DE ACERO INOXIDABLE	

Fuente: SOLER Y PALAU. DAL, enfriamiento evaporativo. p. 20.

Figura 20. Descarga horizontal, DAL-72



Fuente: SOLER Y PALAU. DAL, enfriamiento evaporativo. p. 15.

### **3.2.2.2. Estructura de carga para equipo**

Según datos técnicos del equipo seleccionado se puede ver que el peso del equipo sin motor es de aproximadamente 2,623 libras, a lo que se le puede agregar 500 libras de motor. El peso total aproximado del equipo es de 3,123 libras, lo que indica que es necesario considerar la estructura del equipo.

### **3.2.3. Instalación eléctrica**

La caja de flipones se encuentra a 15 metros del equipo y se sabe que por la potencia del motor es necesaria una instalación eléctrica trifásica y colocar su respectivo flipón y el guardamotor.

## **3.3. Cálculo de materiales**

El sistema de ductos, la instalación del equipo y el mismo equipo se deben de tomar en cuenta para hacer el cálculo de materiales.

### **3.3.1. Sistema de ductos**

Se saben las dimensiones de cada ducto y la forma del mismo, por lo que se procede a hacer cálculos del área superficial del sistema de ductos y agregarle un 15% a ello, para tener el estimado de láminas que se utilizarán.

Tabla VIII. **Cálculo de lámina**

Tramo	Área transversal (mXm)	Largo (m)	Cantidad	Área Superficial (m <sup>2</sup> )	Total (areasupXcant
1	0,3X0,3	2	3	2,76	8,28
2	0,35X0,35	2	3	3,22	9,66
3	0,45X0,45	2	3	4,14	12,42
4	0,50X0,50	2	3	4,60	13,80
5	0,55X0,55	2	3	5,06	15,18
6	0,60X0,60	2	3	5,52	16,56
7	0,65X0,65	2	3	5,98	17,94
8	0,70X0,70	2	3	6,44	19,32
9	0,75X0,75	2	3	6,90	20,70
Conecto	1,0X1,0	11	1	50,6	50,60
					184,46

Fuente: elaboración propia.

El material a utilizar para la fabricación del ducto será lámina de aluzinc que posee estética, además de tener un costo más bajo que otros tipos láminas. El área superficial de una lámina depende de sus dimensiones, dado el caso se utilizarán láminas de 4 pies X 10 pies. Teniendo un total de 3.7162 m<sup>2</sup> por lámina y sabiendo que el área total a cubrir es de 184.76 m<sup>2</sup> resulta necesario el uso de 49.71 láminas de aluzinc, conviniendo en trabajar con 50 láminas, aproximadamente

Las rejillas se colocarán a cada metro de distancia en cada rama de ductos principales.

Total rejillas= 2 rejillas/metro X (3 ramas X 9 metro/rama)

Total rejillas= 54 rejillas

### **3.3.2. Estructura de carga**

La estructura de carga será de costanera en columnas y base principal de equipo con tubo cuadrado y reforzada en suelo con platinas. Este servicio lo realizará una empresa externa a MOEGSA. El precio incluye materiales, mano de obra y estructura instalada en planta.

### **3.3.3. Material eléctrico**

Para realizar la completa instalación eléctrica se hará uso de:

- 15 metros de cable TSJ triple número 8
- 15 metros de cable TSJ doble número 10
- 1 flipón de 60 amperios
- 2 guardamotores

### **3.4. Costo total de proyecto**

Para obtener el costo total de proyecto es necesario incluir equipo, material, mano de obra, estructura, sistema de ductos, entre otros.

Tabla IX. **Costo total**

Descripción	Costo
Equipo	Q.18 000,00
Material Eléctrico	Q. 645,00
Ductos	Q. 5 400,00
Mano de obra	Q. 1 225,75
Rejilla	Q. 8 100,00
Estructura de carga	Q. 9 500,00

Fuente: elaboración propia.

El costo total del proyecto es de Q. 42 870,75 lo que incluye el equipo ya puesto en marcha.

### **3.4.1. Equipo**

El costo total de la lavadora de aire modelo DAL-72 es de Q.18 000,00 a lo que se debe tomar en cuenta que el precio es al costo que tiene Motores Eléctricos de Guatemala por ser único distribuidor autorizado en Guatemala de la marca de este modelo de lavadora al igual que distribuidor de motores eléctricos. Este costo incluye:

- Carcaza de equipo
- Paneles filtrantes
- Bomba de agua

- Motor eléctrico
- Tina de acero inoxidable
- Louver de succión
- Chumaceras
- Tubería de dren
- Tubería de desagüe
- Tubería de alimentación
- Equipo puesto en planta

### 3.4.2. Materiales

Se presenta a continuación el cálculo de materiales para el sistema de ductos.

Tabla X. **Cálculo de materiales**

Material	Objeto	Cantidad	Precio unitario Q.	Precio total Q.
Lámina	Ducto	50	80,00	4 000,00
Rejillas	Ducto	54	150,00	8 100,00
Doblado	Ducto	20	3,50	1 400,00
Cable TSJ triple	Eléctrico	15 m	5,60	84,00
Cable TSJ triple	Eléctrico	15 m	3,40	51,00
Flipón de 90A	Eléctrico	1	60,00	60,00
Guardamotor	Eléctrico	1	450,00	450,00

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3. Mano de obra

El tiempo estimado de instalación es de 4 días, tomando en cuenta que el trabajo lo realizarán 3 personas. El costo por hora de los instaladores es de Q. 9,60 por lo que se procede realizar los siguientes cálculos:

$$\text{MO} = 4 \text{ días} * 8 \text{ horas/días} * 3 \text{ técnicos} * \text{Q } 9,60/\text{hora-técnico} * 1,33$$

$$\text{MO} = \text{Q. } 1\ 225,75$$

El costo total de mano de obra es de Q. 1 225,75 lo que incluye instalación eléctrica y de ductos únicamente; pues la fabricación de los mismos se paga por doblado de ducto, lo que incluye mano de obra, y en cuanto a la instalación física va incluida en el costo de estructura de carga.



## **4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

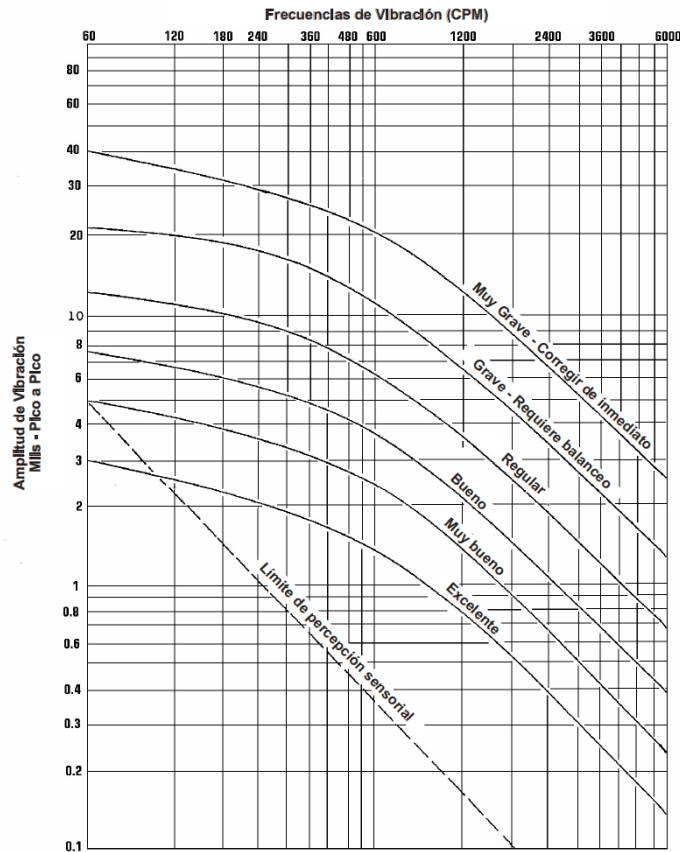
### **4.1. Instalación del sistema**

Para la adecuada instalación del sistema de enfriamiento evaporativo es necesario tomar en cuenta ciertos detalles como el manejo de la lavadora industrial pues debe ser supervisado por personal especializado y cumplir con las normas de seguridad para el manejo del mismo, verificando la capacidad de carga y condiciones de operación del equipo utilizado para el manejo. Se debe mantener en buenas condiciones el equipo de manejo para evitar daños serios al personal y las unidades totalmente armadas se pueden levantar con cadenas sólidas, cables de acero o correas de nylon.

La mayoría de las unidades están provistas de orejas de elevación para facilitar su manejo y evitar daños. La elevación de la lavadora se debe hacer siempre de tal manera que proteja al ventilador y su recubrimiento contra daño. Nunca se debe levantar una lavadora por la brida de entrada o de descarga, de la flecha o la transmisión, el rotor, el motor o base del motor, o de cualquier otra manera que pueda doblar o torcer las piezas. Si la instalación del ventilador se retrasa, es conveniente almacenar la unidad en un área ambientalmente estable y protegida.

La unidad debe ser protegida contra cualquier impacto accidental. Cubrir el ventilador para proteger el recubrimiento. Debe tenerse el cuidado de proteger el motor, la transmisión y las chumaceras.

Figura 21. Tolerancias de vibración para maquinaria en unidades de desplazamiento (mils) y frecuencias de vibración (CPM)



Fuente: GREENHECK. Manual de mantenimiento equipo centrífugo. p. 17.

Dado lo anterior se siguen apropiadamente las instrucciones de manejo dadas por el proveedor del equipo y se asegura de que la estructura de carga cumpla con las condiciones especificadas. Cumpliendo con esto debe proceder a:

- Mover la lavadora a la posición final de montaje.

- Quitar las tarimas, los cajones y los materiales de embalaje cuidadosamente.
- Colocar los tacones de vibración o bases de aislamiento en los tornillos de montaje. Alinear los agujeros de la base del ventilador con los agujeros del tacón.
- Colocar el ventilador en la estructura de montaje. Nivelar cuidadosamente la unidad usando calzas, según lo requieran, donde estén localizados los agujeros de montaje. Atornillar la unidad.
- El ventilador ya debe estar atornillado en la posición deseada antes de que se aplique la lechada. No depender solamente de la lechada para apoyar el equipo rotatorio.

#### **4.2. Operación del equipo**

La finalidad de la instalación del sistema es la operación óptima de la lavadora industrial; esta cuenta con una gran variedad de accesorios de seguridad disponibles. Los dispositivos de seguridad comprenden guardas para la transmisión, protectores de la flecha, rejas de protección para la entrada y la descarga. Si se requieren protecciones adicionales, deben solicitarse directamente al proveedor, especificándolas claramente.

El uso, el abuso o el no uso de los dispositivos de seguridad es la responsabilidad del comprador. Una ventaja extra relacionada con las condiciones de seguridad incluye la accesibilidad a los ventiladores y su localización.

Todas las lavadoras se deben accionar a través de interruptores que sean fácilmente accesibles al personal de servicio del equipo. Cada interruptor debe tener la capacidad de ser apagado y asegurado por la persona de servicio y la llave será conservada por esta persona, para prevenir el encendido accidental del ventilador mientras el servicio está en proceso.

Esto permitirá que la empresa cumpla con ciertas normas de seguridad industrial tanto para el equipo como para el personal que entre en contacto con el sistema. Sin embargo, tomando en cuenta una buena instalación y medidas de seguridad industrial, el equipo puede dar problemas técnicos, por lo que la lavadora debe de cumplir con ciertas condiciones previo a su ejecución y en ejecución.

#### **4.2.1. Condiciones de equipo**

Con todo equipo el usuario debe saber cuáles son las condiciones ideales previo, durante y después de su uso.

##### **4.2.1.1. Previo a su ejecución**

La lavadora industrial debe de cumplir ciertos requisitos antes de hacer funcionar el ventilador los cuales se deben de comprobar y se detallan a continuación:

- Que las medidas de seguridad se han seguido correctamente y que el personal técnico cuente con la ropa y equipo de seguridad adecuado.
- Que el motor del ventilador y la bomba, así como sus accesorios, estén desenergizados y los interruptores asegurados.

- Que los componentes mecánicos de la bomba estén listos:
  - Las tuercas, los tornillos y los opresores estén apretados.
  - Las conexiones del sistema estén hechas y apretadas correctamente.
  - Los rodamientos estén lubricados correctamente.
  
- Los componentes mecánicos del ventilador estén listos:
  - Las tuercas, los tornillos y los opresores deben estar apretados.
  - Las conexiones del sistema tienen que estar hechas y apretadas correctamente.
  - Los rodamientos deberán estar lubricados correctamente.
  - Las poleas colocadas en los ejes correctos.
  - El rotor, motor y transmisión tienen que estar correctamente alineados.
  - Las bandas deben tener la tensión adecuada.
  - Las protecciones especificadas tienen que estar colocadas y bien soportadas.
  - Las juntas flexibles deben estar correctamente instaladas.

- El rodete debe girar libremente y la transmisión y el interior del ventilador tienen que estar limpios y libres de objetos extraños.
- Que los componentes eléctricos del ventilador y bomba estén listos; por lo que se espera que:
  - El motor esté alambrado a un voltaje de alimentación apropiado y puesto a tierra correctamente.
  - Todos los cables conductores estén aislados correctamente y sean del calibre adecuado.
  - El interruptor termomagnético sea adecuado para la capacidad del motor.

#### **4.2.1.2. En ejecución**

Una vez comprobado que la lavadora industrial cumple con los detalles descritos, se procede a realizar un arranque de prueba, el cual incluye las siguientes acciones:

- Encender la bomba y revisar que no haya vibraciones o ruidos anormales.
- Rectificar anomalías y verificar amperajes.
- Encender el ventilador solo el tiempo necesario para que el ensamble comience a girar.

- Comprobar que el rodete gire en la dirección correcta (ver dirección de flecha indicada en la carcasa).
- Revisar que no haya vibraciones o ruidos anormales.
- Rectificar cualquier problema que pudiera haber sido encontrado.
- Revisar la lista de comprobación otra vez, hasta que la unidad esté funcionando correctamente.
- Poner en operación el ventilador.
- Comprobar amperajes.

Después de una semana de operación:

- Verificar todas las tuercas, tornillos y opresores, se deben apretar de ser necesario.
- Verificar que el nivel de agua sea el correcto.
- Verificar la tensión de las bandas. Recordar que es necesario volver a ajustar la tensión de las bandas después de haber trabajado durante algún tiempo, lo cual se hace de la siguiente forma:
  - Aflojar los tornillos del motor.
  - Asegurar que las poleas estén fijas sobre las flechas del ventilador y el motor.

- Mediante los tensores aumentar la tensión de las bandas hasta lograr la tensión requerida; entonces se debe:
  - Volver a apretar los tornillos del motor.
  - Comprobar que las poleas estén correctamente alineadas.
- Controlar que la tensión de las bandas se encuentre a intervalos regulares, ya que si tienen deslizamiento, están expuestas a un desgaste anormal.

### **4.3. Mantenimiento preventivo**

Para garantizar una larga vida al sistema de enfriamiento evaporativo se debe realizar un mantenimiento preventivo, el cual se hace periódicamente. Sin embargo, no todas las partes del sistema tienen el mismo intervalo de tiempo entre un mantenimiento y otro, por lo que se hacen 2 tipos de mantenimiento: el menor y el mayor. La variación entre un mantenimiento y otro es su periodicidad, como la cantidad de servicios que se realiza en los mismos.

#### **4.3.1. Mantenimiento menor**

El mantenimiento menor consiste en un chequeo visual del funcionamiento del sistema más que en un servicio. Pero es importante describir qué detalles son los que se deben de tomar en cuenta para el chequeo, entre los que se encuentran el agua, filtros y fajas.



#### **4.3.1.1. Calidad del agua**

La calidad del agua es muy importante en cualquier sistema de enfriamiento evaporativo pues es la clave para mantener la temperatura deseada en el ambiente, como también puede ser la causante de problemas de salud en el personal que entre en contacto con la misma.

Cuando se habla de calidad del agua se revisará el estado de conservación y limpieza general, con el fin de detectar la presencia de sedimentos, incrustaciones, productos de la corrosión, lodos, algas y cualquier otra circunstancia que altere o pueda alterar el buen funcionamiento de la instalación. Si se detecta algún componente deteriorado, se procederá a su reparación o sustitución

Toda lavadora industrial cuenta con una balsa de recirculación de agua la que tiene un punto que asegura el vaciado rápido y total, dispone de una pendiente adecuada en el fondo (superior al 1%) y dirigida hacia el punto de vaciado, con el fin de facilitar la retirada de los posibles residuos, sólidos y/o lodos acumulados. El diámetro del tubo de vaciado se dimensionará para permitir el paso de dichos residuos según proveedores.

En estas unidades es recomendable disponer de un sistema de vaciado automático que asegure el desagado de la balsa cuando el ventilador se mantenga en un periodo de inactividad superior a 24 horas y las unidades de agua perdida deberán disponer de un grifo de desagüe en el punto más bajo de la instalación y se vaciarán siempre que se prevea que la instalación deba permanecer parada más de un mes o antes de la puesta en marcha, si hubiera estado inactiva durante el mismo periodo de tiempo. Sin embargo, es necesario

un chequeo periódico del funcionamiento del mismo, así como de la cantidad de agua que este debe de tener como mínimo para su adecuado funcionamiento.

De preferencia, además de realizarse cada mes un mantenimiento, se debe de llevar un control en cuanto a la cantidad de agua necesaria, vaciado del sistema y la calidad de la misma.

#### **4.3.1.2. Nivel de obstrucción en filtros**

El mantenimiento de filtros tiende a variar en cuanto a su periodicidad. El ambiente en el que se encuentren puede que haga necesario adelantar el mismo. Uno de los casos más frecuentes es la quema de papel y monte, por mencionar algunos elementos, pues los fuertes vientos que arrastran consigo material y las fuertes lluvias también afectan el sistema de filtros. Todos estos factores pueden aumentar la necesidad del lavado de filtros. Para ello es vital un chequeo visual en cuanto al nivel de obstrucción de los mismos y así sí es necesario hacer alguna modificación en cuanto a la próxima limpieza de los mismos, la que se explica a detalle en mantenimiento mayor.

#### **4.3.1.3. Tensión y desgaste de fajas**

Las bandas tipo A o B necesitan inspección periódica y reemplazo ocasional. Cuando se inspeccione la transmisión, debe buscarse la acumulación de suciedad, rebabas u obstrucciones que puedan causar el prematuro reemplazo de la banda o de la transmisión. Si se encuentran rebabas, utilizar lija fina o una piedra de esmeril fina para quitar las rebabas. Tener cuidado de que el polvo no entre a los baleros.

Se debe comprobar tensión en bandas y tensarlas deslizando el motor en su base. Una tensión correcta es la que produce la mayor eficiencia en la transmisión, mientras que una tensión excesiva produce una carga anormal en los bales. Utilizar tensiómetro en conjunto con las recomendaciones del fabricante, para obtener la tensión apropiada.

Compruebe nuevamente el alineamiento y permitir que las bandas trabajen unos cuantos días para asentarse en las ranuras; después ajustar de nuevo la tensión, chequeando alineación en el eje del motor y el del ventilador, de tal manera que queden paralelos. Las bandas deben de quedar perpendiculares a los ejes. Una regla o un trozo de cáñamo pueden ser utilizados sobre la cara de las poleas para facilitar la alineación. Si la transmisión no está alineada correctamente, ocurrirá un desgaste excesivo en las bandas.

#### **4.3.2. Mantenimiento mayor**

Se le llamará mantenimiento mayor a una serie de procedimientos que permitirán el óptimo funcionamiento del sistema de enfriamiento evaporativo. Al igual que el mantenimiento menor se debe de realizar periódicamente y llevar un control del mismo. El tiempo recomendado para este mantenimiento es cada seis meses, para el cual se deben de realizar servicios completos al sistema.

##### **4.3.2.1. Limpieza de turbina y ductos**

Examinar periódicamente la flecha y la hélice para saber si hay acumulación de suciedad, corrosión o muestras que indiquen exceso de tensión o de fatiga. Limpiar los componentes y cuando sea apropiado aplicar recubrimiento nuevo (cualquier aplicación de recubrimiento o soldadura puede

crear un desbalance). Comprobar el balanceo del ensamble y examinar al igual que la flecha y turbina, el sistema de ductos del equipo.

#### **4.3.2.2. Lavado y desobstrucción de filtros**

Los filtros tienden a acumularse de material que se adhiere a los mismos debido al caudal manejado. Es necesario lavar los filtros con cepillo de cerdas suaves, desinfectante (de preferencia se debe de consultar primero con el proveedor) y luego de ello, agregar abundante agua, verificando que se eliminen los residuos del desinfectante y la obstrucción por la acumulación de material en filtros. Tomar en cuenta que la complicación en el lavado de filtros es desajustarlos de su base, por lo que se recomienda que el personal a cargo pueda manipular los mismos.

#### **4.3.2.3. Eliminación de sedimentos en tanque y cambio de agua**

En las instalaciones con recirculación, la evaporación de parte del agua en circulación aumenta la concentración de los iones presentes en la misma. Este fenómeno de concentración da lugar a un aumento de la salinidad que puede favorecer las incrustaciones y/o la corrosión. La presencia de iones disueltos incrementa el nivel de conductividad del agua, por tanto esta es una medida indirecta de la calidad de la renovación del agua, de la balsa de recirculación del equipo de enfriamiento evaporativo.

Para valorar el nivel de conductividad en la balsa del enfriador evaporativo es necesario referirlo a la conductividad del agua de aporte, ya que esta es muy variable según la procedencia de la misma.

La relación entre la conductividad del agua en la balsa y la del agua de aporte permitirá establecer los ciclos de concentración.

En cuanto a la sedimentación de sólidos se dice que el contacto del agua con una corriente de aire exterior provoca el ensuciamiento de la misma con las partículas del ambiente. Estas partículas en suspensión se valoran mediante el grado de turbidez del agua o bien sedimentación de sólidos en la misma. El control de este fenómeno, se hace de forma indirecta al diluir con agua nueva la balsa del equipo de enfriamiento. Dado que el volumen de agua almacenado no es muy elevado, raramente se usan sistemas de filtración del agua

#### **4.3.2.4. Limpieza a bomba de agua**

Un sistema de bombeo no se mantiene solo. La frecuencia de mantenimiento no es la misma para todas las bombas, sino que varía con las condiciones del servicio. Una bomba que maneje líquidos limpios y no corrosivos requiere mucho menos mantenimiento que una bomba del mismo tamaño y tipo que tenga que manejar líquidos corrosivos o areniscos.

Una inspección periódica resulta económica en comparación con las apagadas forzosas debidas a daños o fallas de las diferentes partes de la bomba. Las inspecciones de la bomba deben hacerse semestralmente. Mientras más pesado sea el servicio más frecuentemente debe ser la inspección. La inspección debe ser completa e incluir un chequeo cuidadoso de las tolerancias entre las partes giratorias y las estacionarias.

Al realizar el mantenimiento, si se siguen unas cuantas instrucciones, al armar y desarmar la bomba se pueden economizar tiempo, trabajo y problemas.

Estas instrucciones son aplicables a toda clase de bombas sin embargo se debe de realizar por la persona encargada de mantenimiento o bien verificar si el servicio lo realiza el proveedor.

- Al desarmar bombas:
  - No es necesario desconectar la tubería de succión o de descarga ni cambiar la posición de la bomba.
  - La tubería auxiliar debe desconectarse en los puntos en que sea necesario para quitar una parte, excepto cuando hay que quitar la bomba de la base.
  - Después de haber desconectado la tubería, debe amarrarse un trapo limpio en los extremos o aberturas del tubo para evitar la entrada de cuerpos extraños.
  - Emplear siempre un extractor para quitar un acople del eje.
  - Las camisas del eje tienen roscas para apretarle en sentido contrario a la rotación del eje.

Antes de hacer la inspección y el chequeo, limpiar las partes cuidadosamente. Los residuos gomosos y espesos pueden quitarse a vapor. El lodo o depósitos de sustancias pueden quitarse por medio de un chorro de arena, trabajo que se hace cuidadosamente para que no forme huecos ni dañe las superficies labradas de la máquina.

La bomba hidráulica es una máquina construida con precisión. Las tolerancias entre las partes giratorias y las estacionarias son muy pequeñas y debe ejercerse el mayor cuidado para ensamblar adecuadamente sus partes con el objeto de conservar estas tolerancias. El eje debe estar completamente recto y todas las partes deben estar absolutamente limpias. Un eje torcido, mugre o lodo en la cara del eje impulsor o sobre un eje, puede ser causa de fallas o daños en el futuro.

Los impulsores y el espaciador constituyen un ensamblaje resbaladizo bastante ajustado al eje. Debe usarse una pasta delgada de aceite al ensamblar estas partes en el eje.

#### **4.3.2.5. Lubricación de cojinetes y chumacera**

Es necesario lubricar chumaceras y cojinetes, verificando siempre el tipo de lubricante necesario para las partes, según datos del proveedor. Algunos motores son lubricados de por vida. La lubricación de los rodamientos del motor, si es requerida, debe seguir el programa de mantenimiento normal recomendado por el fabricante. Los requisitos de lubricación normalmente son adjuntos al motor. No se debe lubricar en exceso. En motores nuevos se recomienda que por ningún motivo se abra la carcasa ya que la póliza de garantía no será válida.

Se recomienda verificar también el estado de cojinetes y chumaceras. En el caso de cojinetes, estos presentan poco ruido cuando empiezan a dañarse sin embargo se hace molesto el ruido cuando avanza el problema de cojinetes sueltos y este ruido viaja a través del ducto, causando malestares a las personas que entran en contacto con el mismo y para las chumaceras no se debe de pasar por alto que las de los ventiladores de alta velocidad,

frecuentemente son diseñadas para operar calientes, hasta una temperatura de 93° C (200 °F).

Las chumaceras con rodamientos de bolas pueden operar hasta una temperatura de 93° C (200 °F) sin que se requiera una investigación de la causa del sobrecalentamiento; de cualquier manera no se debe cambiar una chumacera solo porque esta se “sienta caliente”. Comprobar la temperatura de la chumacera con un termómetro de contacto.

La relubricación apropiada de las chumaceras ayuda a asegurar una vida máxima del rodamiento, previniendo la corrosión y ayudando a eliminar contaminantes. Es difícil establecer una regla para la frecuencia de relubricación puesto que las necesidades pueden variar considerablemente según las distintas condiciones de trabajo y aplicaciones. El mejor procedimiento para establecer esta frecuencia, es aquel que se basa en la experiencia del usuario, contando para ello con la ayuda de un historial de cada uno de los equipos.

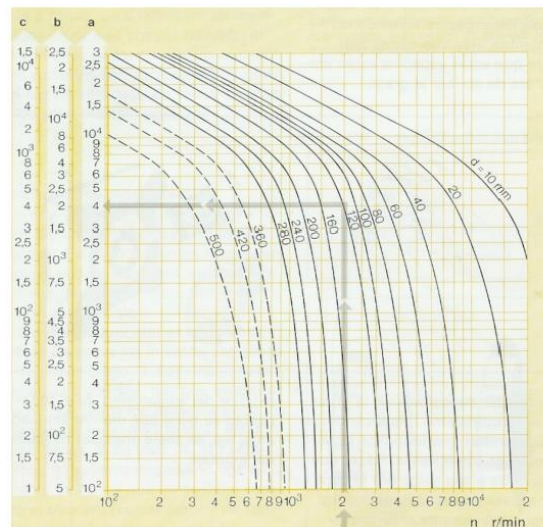
En la fase experimental se fijará arbitrariamente un periodo de relubricación, observando y anotando las condiciones en las que se encuentra la grasa purgada. Para un tipo de aplicación promedio en donde las chumaceras trabajan en un ambiente limpio y a una temperatura normal de hasta 71° C (160 °F); los intervalos de relubricación están indicados en la figura 21.

Al inicio de la operación de los ventiladores, los baleros pueden descargar el exceso de grasa a través de los sellos por un período de tiempo corto.



No substituir la descarga inicial porque el goteo cesará cuando el exceso de grasa se haya agotado; el balero tiene a veces una tendencia a funcionar más caliente durante este período y uno no debe alarmarse a menos que dure más de 48 horas o exceda los 104° C (220 °F). Al relubricar, utilizar la suficiente cantidad de grasa para purgar los sellos. Girar con la mano el eje durante la relubricación, respetando las buenas prácticas de seguridad.

Figura 22. Intervalos de lubricación



Fuente: GREENHECK. Manual de mantenimiento equipo centrífugo. p. 11.

#### 4.3.2.6. Aislamiento eléctrico

El aislamiento eléctrico es lo que permite la restricción de pérdidas de corriente y el paso de las mismas. Un buen aislamiento es el que no se deteriora al aumentar el voltaje y por ende la corriente, obteniéndose una resistencia alta, la cual se debe mantener en el tiempo. Esto se visualiza al realizar mediciones periódicas y estudiando la tendencia que provoca que un aislamiento se deteriore.

Entre los elementos que deterioran el aislamiento, podrían mencionarse daños mecánicos, vibraciones, calor, frío excesivo, suciedad, aceite, vapores corrosivos y humedad. En distintos grados, estos elementos son enemigos del aislamiento y se combinan con el esfuerzo eléctrico existente.

Conforme se desarrollen picaduras o grietas en el aislamiento, la humedad y materiales extraños penetran favoreciendo el camino más fácil para la fuga de corriente, ocasionando en ese punto una menor resistencia. Una vez que comienza este deterioro del aislamiento, los distintos enemigos tienden a ayudarse entre sí, favoreciendo una pérdida de corriente excesiva a través de la capa aislante.

De modo que se ve que el ambiente es propenso para el deterioro del aislamiento, por lo que se debe de chequear continuamente el cableado eléctrico y si es necesario, cambiar el aislante del mismo.

#### **4.3.2.7. Torque de tornillos en partes móviles**

Todos los componentes o dispositivos estructurales usados para soportar o unir el ventilador a una estructura se deben revisar en intervalos regulares. Los aisladores de vibración, tornillos, cimentaciones, entre otros, están expuestos a fallas por la corrosión, la erosión y otras causas. El montaje incorrecto puede conducir a malas características de funcionamiento o fatiga y falla del ventilador. Comprobar los componentes metálicos para saber si presentan corrosión, grietas u otras muestras de tensión. El concreto se debe revisar para asegurar la integridad estructural de la cimentación.

#### **4.3.2.8. Cambio de fajas**

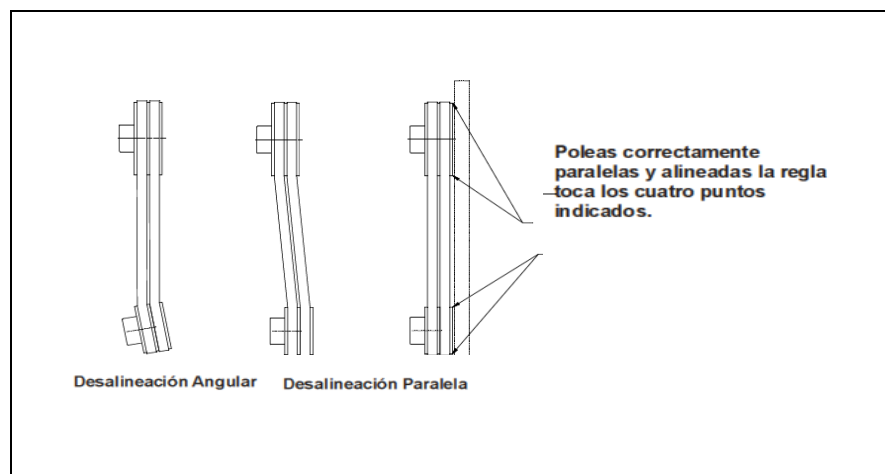
Revisar las bandas y poleas para saber si hay desgaste. El deslizamiento excesivo de banda en poleas puede causar desgaste y vibración. Substituir las poleas gastadas por nuevas y alinear cuidadosamente las poleas para evitar una falla prematura de la transmisión.

Observar si las bandas tienen desgaste. Si existe desgaste u otro deterioro sobre todo en un lado de las bandas, las poleas pueden estar mal alineadas. Reinstalar las poleas de acuerdo con las instrucciones siguientes:

- De requerirse un cambio de bandas, reemplazar estas con un juego completo de bandas igualado. Las bandas nuevas no trabajarán bien con bandas usadas, debido a su diferencia en longitud.
- Limpiar las flechas del motor y del ventilador, asegurándose de eliminar marcas, golpes, óxido, etc., en las áreas donde irán montadas las poleas. Limpiar el barrenado de las poleas y aceitarlas para facilitar el deslizamiento sobre las flechas, si estas son del tipo de montaje con buje cónico. Colocar los tornillos sin apretarlos. Quitar el aceite, grasa, óxido y rebabas existentes en las poleas.
- En caso de retirar las poleas de los ejes, asegurarse de colocar cada polea en su flecha correspondiente y no tratar de montarlas por medio de golpes, ya que esto puede dañar los baleros. Apretar las poleas en su lugar, asegurándose de que estas queden tan cerca de los baleros como sea posible; siempre que no rocen contra cualquier parte del equipo.

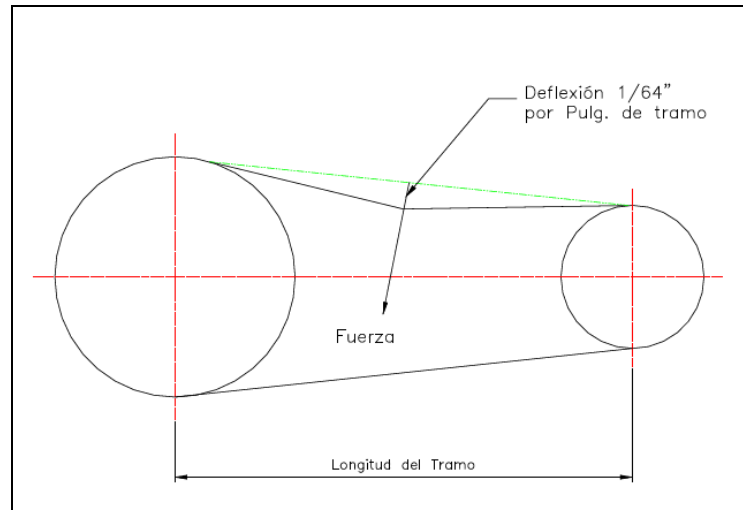
- Mover el motor con los tornillos de tuerca y contratuerca de la base, de tal manera que las bandas puedan ser colocadas en las poleas sin forzarlas; no girar las bandas ni las forzarlas con alguna herramienta sobre las ranuras.

Figura 23. **Alineación de poleas**



Fuente: GREENHECK. Manual de mantenimiento equipo centrífugo. p.5.

Figura 24. **Medición de la tensión por deflexión**



Fuente: GREENKECK. Manual de mantenimiento equipo centrífugo. p. 5.

En el mantenimiento se debe de verificar la tensión generada a la banda por las poleas, lo que se realiza así:

- Determinar la fuerza necesaria para flexionar una banda en 1/64" por pulgada de la longitud del tramo. La fuerza debe ser aplicada en la parte media del tramo.
- Comparar esta fuerza de deflexión con la fuerza recomendada en tablas para el tipo y marca de banda utilizada.



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

### **5.1. Resultados**

Se muestra el resultado obtenido con la implementación del sistema de climatización.

#### **5.1.1. Temperaturas en operación**

Se procede a tomar datos de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo con la lavadora industrial puesta en marcha con al menos 15 minutos de estar encendida, de donde se obtiene que las condiciones de temperatura en la planta son:

- Temperatura de bulbo seco: 20°C
- Temperatura de bulbo húmedo: 14°C

#### **5.1.2. Comparación con focos de calor**

Los focos de calor principales como se mencionó con anterioridad son:

- La lámina galvanizada del techo
- La maquinaria industrial de motores y compresores de mayor potencia
- La temperatura ambiente

Ninguno de ellos puede modificarse o bien exterminarse, pues forman parte de la infraestructura y ambiente. Sin embargo se realiza medición de temperatura ambiente en el área de maquinaria industrial y motores, de donde se obtiene:

- Temperatura de bulbo seco: 22°C
- Temperatura de bulbo húmedo: 17°C

Por lo que dado los resultados se cumple con el requisito de temperatura ambiental para la conservación y aseguramiento de vida útil del equipo.

## **5.2. Mejoras**

Es posible realizar mejoras al sistema tanto en el consumo eléctrico como en la calidad del agua.

### **5.2.1. Consumo eléctrico**

El consumo eléctrico del equipo se puede reducir con el uso de variadores de velocidad electrónicos.

#### **5.2.1.1 Variadores de velocidad electrónicos**

El variador de velocidad electrónico es en un sentido amplio, un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos, empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. También es conocido como accionamiento de velocidad variable.



La maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante y con valores que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, los cuales no se pueden modificar fácilmente. Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un controlador especial que recibe el nombre de variador de velocidad. Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales como en ventiladores, equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas, transportadores industriales, elevadores, llenadoras, entre otros.

Los variadores de frecuencia permiten controlar la velocidad tanto de motores de inducción como de los motores síncronos, mediante el ajuste de la frecuencia de alimentación al motor. Para el caso de un motor síncrono la velocidad se determina mediante la siguiente expresión:

$$N_s = 120f / P$$

Donde:

$N_s$  = velocidad síncrona (rpm)

$f$  = frecuencia de alimentación (Hz)

$P$  = número de polos

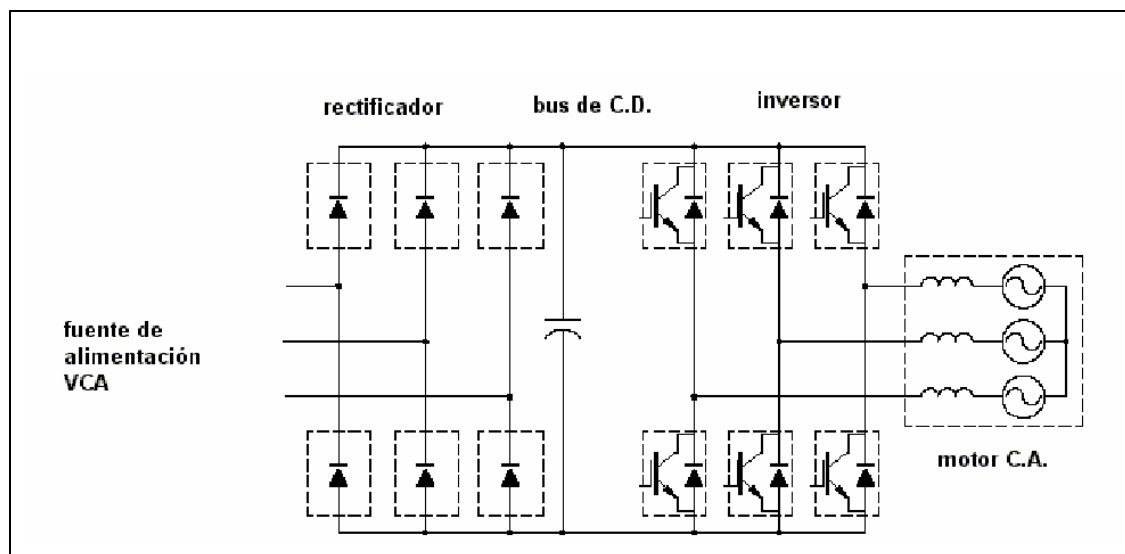
Como puede verse, la frecuencia y velocidad son directamente proporcionales, de tal manera que al aumentar la frecuencia de alimentación al motor, se incrementará la velocidad de la flecha, y al reducir el valor de la frecuencia, disminuirá la velocidad del eje. Por ello es que este tipo de variadores manipula la frecuencia de alimentación al motor, con el fin de obtener el control de la velocidad de la máquina.

Estos variadores mantienen la razón voltaje/ frecuencia (V/Hz) constante entre los valores mínimos y máximos de la frecuencia de operación, con la finalidad de evitar la saturación magnética del núcleo del motor y además porque el hecho de operar el motor a un voltaje constante por encima de una frecuencia dada, (reduciendo la relación V/Hz) disminuye el par del motor y la capacidad del mismo para proporcionar potencia constante de salida.

La mayoría de los variadores utilizados en la industria son de modulación del ancho de pulso. Están formados básicamente por tres elementos:

- Rectificador
- Convertidor
- Enlace

Figura 25. **Diagrama esquemático de un variador de frecuencia**

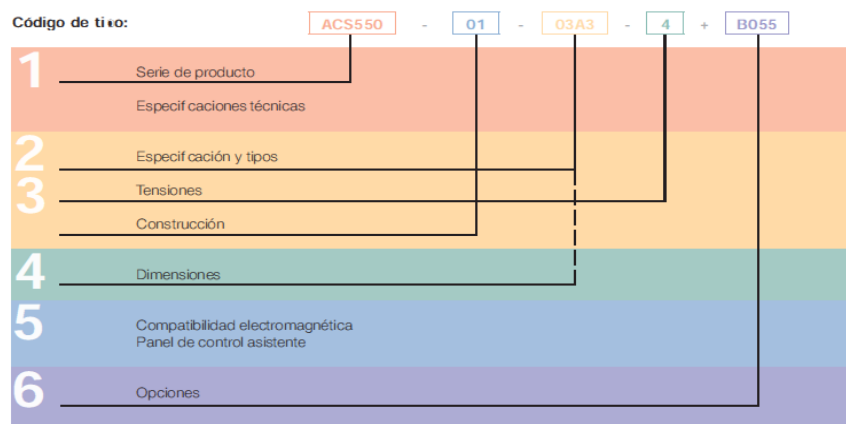


Fuente: ABB. Variador de frecuencia. p. 10.

### 5.2.1.2. Selección de variador

Así como se debe de escoger el modelo de lavadora por su uso, se debe también de seleccionar el variador de frecuencia adecuado al uso del motor. Dado el caso, se tiene que los variadores tienen un código; se trata de un código de referencia exclusivo que identifica claramente el convertidor por sus especificaciones de potencia, tamaño de bastidor, entre otras.

Figura 26. Código de tipo



Fuente: ABB. Manual ACS 500. p. 16.

Para hallar el código de tipo es necesario apoyarse en datos técnicos tanto del motor como del variador. En este caso se hará uso del modelo ACS550 de acuerdo con la potencia del motor, pues ACS550 es un variador diseñado para trabajar con potencias que van desde 0,75 a 355 kw; en este caso las especificaciones del motor son:

- Trifásico
- 7,5 kw

- 900RPM
- 220/440

Las especificaciones técnicas del variador se dan a continuación:

Tabla XI. Especificaciones técnicas

Conexión a la red	
Rango de potencia y tensión	Trifásica, 380 a 480 V, +10/-15%, 0,75 a 355 kW Trifásica, 208 a 240 V, +10/-15%, 0,75 a 75 kW Autoidentificación de la línea de entrada.
Frecuencia	de 48 a 63 Hz
Factor de potencia	0,98
Conexión del motor	
Tensión	Trifásica, de 0 a $U_{ALIMENTACIÓN}$
Frecuencia	de 0 a 500 Hz
Capacidad de carga continua	Intensidad de salida nominal $I_{3N}$ <small>(par constante a una temperatura ambiente máxima de 40°C)</small>
Capacidad de sobrecarga	En uso normal: $1,1 \times I_{3N}$ durante 1 minuto cada 10 minutos. En uso en trabajo pesado: $1,5 \times I_{2nd}$ durante 1 minuto cada 10 minutos Independientemente del uso: $1,8 \times I_{2nd}$ durante 2 segundos cada 60 segundos
Frecuencia de conmutación	De fábrica, 4 kHz de 0,75 a 37 kW: 1 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 12 kHz de 45 a 110 kW: 1 kHz, 4 kHz, 8 kHz > 110 kW: 1 kHz, 4 kHz
Tiempo de aceleración	de 0,1 a 1.800 s.
Tiempo de desaceleración	de 0,1 a 1.800 s.

Fuente: ABB. Manual ACS 550. p. 21.

Una vez se tienen ambos datos técnicos, se procede a determinar el número de tensión y dimensiones. El ACS550 está disponible en dos intervalos de tensión:

- Código de tipo 4 = 380 - 480 V
- Código de tipo 2 = 208 - 240 V

En el código de tipo deberá colocar un 2 o un 4 en función de la tensión que haya elegido, el motor puede conectarse como anteriormente se mencionó en 220 o 440 voltios; sin embargo la acometida trifásica está en 220 a lo que el número de tensión es 2.

En la tabla XII se presentan varios códigos de tipo para variadores en voltaje 208 a 220 trifásico, en el que se podrá notar que se utiliza el código 01, lo cual indica el tipo de montaje del convertidor, en este caso montado en pared. Entre otras definiciones es necesario saber que en las aplicaciones de ventiladores se selecciona uso normal y uso pesado, única y exclusivamente, en caso de requisitos de alta descarga. En la tabla se encuentra las siguientes abreviaciones

- PN para kW = Potencia típica del motor en uso normal
- PN para cv = Potencia típica del motor en uso normal
- Phd para kW = Potencia típica del motor en uso en trabajo pesado
- Phd para cv = Potencia típica del motor en uso en trabajo pesado

De acuerdo con la tabla y a las especificaciones técnicas de equipo y motor, se encontró que el variador a utilizar, según el código de tipo, es el ACS550-01-031A-2 y con ello las dimensiones del mismo.

Tabla XII. Tensión de alimentación trifásica

Especificaciones						Código de tipo	Tamaño bastidor
Uso normal			Uso en trabajo pesado				
$P_N$ kW	$P_N$ cv	$I_N$ A	$P_{hd}$ kW	$P_{hd}$ cv	$I_{hd}$ A		
0,75	1,0	4,6	0,75	0,8	3,5	ACS550-01-04A6-2	R1
1,1	1,5	6,6	0,75	1,0	4,6	ACS550-01-06A6-2	R1
1,5	2,0	7,5	1,1	1,5	6,6	ACS550-01-07A5-2	R1
2,2	3,0	11,8	1,5	2,0	7,5	ACS550-01-012A-2	R1
4,0	5,0	16,7	3,0	3,0	11,8	ACS550-01-017A-2	R1
5,5	7,5	24,2	4,0	5,0	16,7	ACS550-01-024A-2	R2
7,5	10,0	30,8	5,5	7,5	24,2	ACS550-01-031A-2	R2
11,0	15,0	46,2	7,5	10,0	30,8	ACS550-01-046A-2	R3
15,0	20,0	59,4	11,0	15,0	46,2	ACS550-01-059A-2	R3
18,5	25,0	74,8	15,0	20,0	59,4	ACS550-01-075A-2	R4
22,0	30,0	88,0	18,5	25,0	74,8	ACS550-01-088A-2	R4
30,0	40,0	114	22,0	30,0	88,0	ACS550-01-114A-2	R4
37,0	50,0	143	30,0	40	114	ACS550-01-143A-2	R6
45,0	60,0	178	37,0	50	150	ACS550-01-178A-2	R6
55,0	75,0	221	45,0	60	178	ACS550-01-221A-2	R6
75,0	100	248	55,0	75	192	ACS550-01-248A-2	R6

Fuente: ABB. Manual ACS550. p. 23.

Tabla XIII. Unidades montadas en pared



Tamaño bastidor	IP21 /UL tipo 1				
	A1 mm	A2 mm	AN mm	P mm	Peso kg
R1	369	330	125	212	6,5
R2	469	430	125	222	9
R3	583	490	203	231	16
R4	689	596	203	262	24
R5	739	602	265	286	34
R6	880	700	300	400	69

Fuente: ABB. Manual ACS550. p. 24.

### **5.2.1.3. Consumo con variador de velocidad electrónico**

El motor de inducción es una de las mejores formas de obtener energía mecánica a partir de energía eléctrica. Tiene la limitante de mantener su velocidad fija, sin importar las variaciones de carga y es variable solo cambiando el número de polos. Sin embargo, la mayoría de los procesos industriales requieren variación de velocidad.

Actualmente, mediante la utilización de variadores de frecuencia, se puede variar la velocidad de un motor del tipo inducción. Esto permite poder variar la velocidad en procesos donde las necesidades de flujo, ya sea agua o aire no son constantes.

El control de procesos y el ahorro de la energía son dos de las principales razones para el empleo de variadores de velocidad. Históricamente, los variadores de velocidad fueron desarrollados originalmente para el control de procesos, pero el ahorro energético ha surgido como un objetivo tan importante como el primero.

Entre las diversas ventajas en el control del proceso proporcionadas por el empleo de variadores de velocidad destacan:

- Operaciones más suaves
- Control de la aceleración
- Distintas velocidades de operación para cada fase del proceso
- Permitir operaciones lentas para fines de ajuste o prueba
- Ajuste de la tasa de producción
- Permitir el posicionamiento de alta precisión

Para la aplicación de variadores de frecuencia es necesario conocer las leyes de afinidad. Las ecuaciones utilizadas en bombas, ventiladores y compresores centrífugos son las siguientes:

- $D_1 / D_2 = Q_1 / Q_2 = N_1 / N_2$
- $D_1 / D_2 = Q_1 / Q_2 = (H_1 / H_2)^{1/2}$
- $D_1 / D_2 = Q_1 / Q_2 = (P_1 / P_2)^{1/3}$

Estas ecuaciones pueden ser acomodadas en diferentes formas:

- $Q_1 / Q_2 = D_1 / D_2$
- $H_1 / H_2 = (Q_1 / Q_2)^2$
- $Pot. 1 / Pot. 2 = (Q_1 / Q_2)^3$

#### 5.2.1.4. Comparación de consumos

El motor a utilizar en la lavadora industrial es de 10 HP, lo que tiene un consumo de 7,500 kw y 900 rpm. Se sabe que el modelo DAL-72 requiere 346 rpm, por lo que se procede a utilizar leyes de afinidad para la potencia a consumir esperada.

$$N_1 = 900 \text{ RPM}$$

$$N_2 = 346 \text{ RPM}$$

$$P_1 = 7.500 \text{ kW}$$

$$P_2 = (Q_2 / Q_1)^3 \times P_1 = (346 / 900)^3 \times 7.460 = 0.42388 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia esperada} = 0.42388 \text{ kW}$$



Tabla XIV. **Comparación de consumos**

Aspecto	Motor sin variador	Motor con variador
Tiempo de uso al día	8 horas	8 horas
Días de uso al año	360	360
Potencia	7.50 kw	0.424 kw
Consumo de kwh anual	21,600.00	1,221.12
Costo de kwh	Q. 1,558	Q. 1,558
Costo anual	Q. 33 657,38	Q. 1 902,76

Fuente: elaboración propia.

Considerando una disminución en el consumo de energía eléctrica de 7.036 kw, se ahorran Q. 31 754,62.

## **5.2.2. Calidad del agua**

El agua y su calidad dependerán del tratamiento y del correcto análisis que se le realice, prolongando así su vida útil dentro del sistema.

### **5.2.2.1. Vida útil**

Al igual que el sistema de filtros, la calidad del agua y su vida útil está muy ligada al ambiente en el que se encuentre la lavadora de aire industrial operando. Sin embargo, hay algunos factores que se pueden tomar en cuenta para alargar la vida útil de la misma y mantener su calidad.

El funcionamiento del sistema requiere que el agua se incorpore a la corriente de aire evaporada, por ello se usan bajas velocidades de paso. No obstante, la temperatura del agua debería mantenerse lo más baja posible, inferior a 20 °C, si las condiciones climatológicas lo permiten. De esa forma se minimiza el crecimiento de Legionella, que depende en gran manera de la temperatura del agua.

#### **5.2.2.2. Tratamiento de agua**

En los sistemas con recirculación de agua, la concentración de sales disueltas debido al fenómeno de la evaporación puede llegar a superar el producto de solubilidad de algunas de ellas, produciéndose incrustaciones, lodos y fangos que tapan el relleno y favorecen el crecimiento microbiano. Se debe por lo tanto establecer un régimen de purgas en función de la conductividad del agua, adecuado para cada instalación en función de las características fisicoquímicas del agua de aporte. La opción más segura desde este punto de vista, es disponer de una sonda de conductividad que purgue automáticamente al alcanzar un nivel determinado.

Con el fin de evitar incrustaciones, en caso necesario, se puede realizar un tratamiento antincrustante que ayude a mantener las superficies del sistema libres de incrustaciones y lodos. El tratamiento antincrustación generalmente será externo, para evitar la entrada de iones calcio o magnesio al sistema.

Un tratamiento externo habitual consiste en la instalación de un sistema de descalcificación; dicho sistema está basado en un lecho de resinas que capta los iones calcio o magnesio, intercambiándolos por iones sodio. Estas resinas tienen una capacidad limitada de intercambio, por lo que se regeneran habitualmente de forma automática, mediante cloruro sódico.

Los equipos de enfriamiento evaporativo de superficie húmeda, por su modo de funcionamiento, no producen aerosoles, pero pueden producir accidentalmente arrastres de gotas si no se mantienen adecuadamente. Por tanto, la limpieza periódica de estos equipos es fundamental. Estos equipos están calificados como de menor probabilidad de proliferación y dispersión de Legionella, por tanto deben limpiarse y si procede, desinfectarse. El criterio recomendado es realizar una limpieza de mantenimiento según el protocolo descrito con periodicidad mínima recomendada: semestral.

Si los resultados analíticos de los ensayos de aerobios totales o Legionella detectan niveles por encima de la recomendación, proceder a una limpieza y desinfección según se detalla en el apartado siguiente.

La limpieza y desinfección en caso de brote, en equipos con recirculación de agua se procederá del siguiente modo:

- Dosificar 20 mg/l de cloro residual libre manteniendo el pH entre 7 y 8 y la temperatura por debajo de 30 °C en el agua de aporte, mediante una bomba dosificadora;
- Mantener residuales de cloro como mínimo durante 3 horas, verificando al menos 2 mg/l en los puntos finales de la red; aclarar con agua limpia y restablecer las condiciones habituales en el sistema;
- Todas las partes desmontables de la instalación se sumergirán en una solución clorada u otro desinfectante autorizado con 20 mg/l de cloro residual libre, durante al menos 30 minutos.

No importando que el tratamiento al agua se dé semestralmente, se deberán hacer chequeos trimestrales de ciertos parámetros para comprobar la calidad de la misma. Se recomienda que la persona designada a hacer la revisión sea experta en examinar la calidad del agua, pues estos parámetros son en parte estudios microbianos, en los cuales la toma de muestra utiliza equipo especial y se deben de entender las lecturas del mismo.

Tabla XV. **Parámetros de control de la calidad del agua**

Parámetro	Método de análisis
Temperatura	Termómetro de inmersión de lectura directa
PH	Medidor de pH de lectura directa
Conductividad	Sonda electroquímica de lectura directa
Turbidez	Turbidímetro
Recuento total de aerobios en el agua	Según norma ISO 6222. Calidad del agua.
Legionella	Según norma ISO 11731 Calidad del agua

Fuente: OMS. Calidad del agua, versión 2006. p. 7.

### 5.2.2.3. **Vida útil luego del tratamiento**

El tratamiento de limpieza para mejorar la calidad del agua permite ver la diferencia entre un mantenimiento para revisiones en la calidad, el cual consiste en chequeos visuales, mientras el otro consiste el chequeos biológicos, por lo que con el tratamiento se puede en verdad garantizar la calidad del agua y su vida útil.

#### 5.2.2.4. Comparación de vidas útiles

El tratamiento para la calidad del agua permite una mayor calidad y vida útil; sin embargo es de mayor importancia que luego de muestras microbiológicas y dándole el debido tratamiento al agua, se logrará ver que esta siempre permanecerá en los parámetros a continuación presentados. En caso contrario, se recomienda revisar el programa de mantenimiento, tratamiento de agua o bien verificar que la persona sea realmente experta en lo requerido. Por último, se procede a la limpieza y desinfección del equipo antes de operar.

Tabla XVI. **Parámetros dado tratamiento**

Parámetro	Valor de referencia	Acción correctiva en caso de Incumplimiento
Temperatura	Según condiciones de funcionamiento.	No aplicable
pH	6,5 - 9,	Se valorará este parámetro con el fin de ajustar la dosis de cloro a utilizar o de cualquier otro biocida. Se recomienda calcular el índice de Langelier para verificar la tendencia agresiva o incrustante del agua.
Índice de Langelier	> 0 Agua incrustante 0 Equilibrio < 0 Agua agresiva	Se valorará este parámetro para determinar el programa de tratamiento del agua, de modo que esta en ningún momento podrá tener características incrustantes ni corrosivas.
Turbidez	< 15 NFU	Diluir con agua nueva la balsa.

Continuación de la tabla XVI.

Conductividad	Debe estar comprendida entre los límites que permitan la composición química del agua (dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, entre otros) de tal forma que no produzcan fenómenos de incrustación o corrosión.		La purga se debe realizar en función de la conductividad máxima permitida en el sistema, indicado en el programa de tratamientos del agua.
Hierro total	< 2 mg/l		Identificar y sustituir el elemento afectado por la corrosión.
Recuento total de aerobios	Pulverizado	≤10000 Ufc/ml	Con valores superiores a 1000 Ufc/ml, será necesario comprobar el programa de mantenimiento. Con valores superiores a 10000 Ufc/ml, limpiar y realizar un tratamiento
	Superficie húmeda	≤10000 Ufc/m	Con valores superiores a 10000 Ufc/ml, será necesario comprobar el programa de mantenimiento. Con valores superiores a 100000 Ufc/ml, limpiar y realizar un tratamiento antes de reiniciar el servicio.
Legionella SP	Presencia		Parar el funcionamiento de la instalación, vaciar el sistema. -100-1000 Ufc/L o ->1000 Ufc/L Realizar una limpieza y tratamiento antes de reiniciar el servicio y una nueva toma de muestras aproximadamente a los 15 días.

Fuente: OMS. Calidad del agua, versión 2006. p. 13.

## CONCLUSIONES

1. Las condiciones climáticas de la planta de MOEGSA no eran las adecuadas para el buen desempeño de los trabajadores y no cumplían con los requisitos que el proveedor solicita al almacenar el equipo industrial y motores, para cumplir con la garantía.
2. El excesivo calor conlleva a un bajo desempeño en los trabajadores, así como en una disminución de eficiencia en las labores que cada uno debe cumplir y los principales focos eran la maquinaria industrial y la infraestructura de la planta de distribución.
3. Las condiciones de la planta mejoran al climatizar la misma, pues trae consigo una condición laboral apropiada para el empleado, como también una mejora a la maquinaria industrial almacenada.
4. La lavadora industrial es el mejor sistema propuesto ya que se manejará siempre aire nuevo debido a la circulación del mismo con base en el diseño del equipo; se protegerá el medio ambiente pues no contiene gases refrigerantes.
5. El modelo de lavadora recomendado es el DAL-76 con motor de 10 hp, con la que se climatiza el área de producción, bodega y oficinas, haciendo así un buen diseño de ductos para cubrir con la misma lavadora las tres diferentes áreas.

6. El usuario de una lavadora industrial dispondrá del funcionamiento de la misma como diseño de ductos, instalación y mantenimiento, pudiendo así crear un programa de mantenimiento periódico para aumentar la vida útil de la lavadora industrial.
  
7. El programa de mantenimiento indica la periodicidad con la que se deben hacer inspecciones a la lavadora y sobre qué se debe inspeccionar, destacando así la calidad del agua y el buen funcionamiento del ventilador industrial.



## RECOMENDACIONES

1. Es necesario cumplir con los requisitos que el proveedor solicita bien sea de infraestructura como de temperatura, pues de esa manera se puede asegurar la garantía de la maquinaria tanto para el cliente como para la empresa misma.
2. Las condiciones laborales y el ambiente definen la eficiencia con la que puede un trabajador o no realizar sus labores, por lo que es la empresa misma la que tiene que velar por hacer de ello lo ideal.
3. Es necesario tomar en cuenta que las condiciones laborales abarcan no solamente temperatura sino ruido e iluminación; entre otras por lo que al momento de realizar un proyecto de mejora se debe cuidar no empeorar una por mejorar otra.
4. La lavadora industrial es un equipo muy sencillo que permite ayudar al medio ambiente logrando también una ayuda al usuario, pues el ahorro energético es bajo en relación con otros sistemas de climatización, y el usuario puede disminuirlo aún más utilizando un variador de frecuencia.
5. Es muy importante realizar bien las mediciones de temperatura y análisis para lograr así datos exactos, para tener una mayor certeza al hacer los cálculos que permitan determinar el modelo de lavadora industrial que más se adapta a las necesidades.

6. El mantenimiento que puede recibir el equipo es simple, sin embargo es necesario que lo realice gente capacitada y llevar consigo estadísticas del mismo, para tener así control sobre la periodicidad, personal asignado y resultados obtenidos del mismo.
  
7. La calidad del agua es un factor muy importante y los estudios los debe realizar personal experto pues se pueden contaminar las muestras y no se determinará con exactitud si se cumple o no con los parámetros de calidad.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Ventiladores, recomendaciones para el acoplamiento al sistema de distribución: UNE 100-230-95*. España: AENOR, 1995. 58 p.
2. BATURÍN, V.V. *Fundamentos de ventilación industrial: técnicas básicas de ingeniería*. 3a ed. México: Labor, 1976. 647 p. ISBN 84-335-6414-5.
3. GREENHECK Corporación de ventiladores. *Manual de instalación, operación y mantenimiento, ventiladores centrífugos y axiales*. 7a ed. Estados Unidos: Greenheck, 2010. 70 p.
4. GRUPO ABB. *Catálogo de convertidores de frecuencia estándar, ACS 550 0.75 a 355 kw/1 a 500CV*. 6ª ed. Suiza: Grupo ABB, 2009. 23 p.
5. LÓPEZ MAZARIEGOS, Edwin Steward. *Diseño e instalación del sistema de ductería para la distribución de aire acondicionado dado por cuatro manejadoras en almacenes Carrion*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 97 p.

6. MONTENEGRO CHÚA, Alex Giovanni. *Estudio del sistema de aire acondicionado en una planta, con el propósito de optimizar su operación*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999. 64 p.
7. ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN. *Calidad del agua: detección y recuento de Legionella: UNE EN ISO 11731-2*. 2a ed. Nueva Zelanda: OIE 2004. 58 p.  
\_\_\_\_\_.
8. *Calidad del agua: recuento para el cultivo de microorganismos: UNE-EN-ISO-622*. 3a ed. Nueva Zelanda: OIE 2002. 67 p.
9. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Normas para la calidad del agua potable*. 2a ed. Suiza: OMS, 1970. 33 p.
10. SOLER & PALAU, Grupo de ventilación. *DAL manejadoras de enfriamiento evaporativo*. 3a ed. México: Soler & Palau, 2009. 26 p. \_\_\_\_\_.
11. *Manual práctico de ventilación*. 10a ed. México: Soler & Palau, 2006. 150 p.
12. VITI, Alberto. *Manual de climatización para locales de restauración*. 4a ed. España: ATECYR; Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, 1999. 97 p.