



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

**ESTUDIO PARA LA COMPRA, MONTAJE Y MANTENIMIENTO
DE UN VENTILADOR CENTRÍFUGO PARA ENFRIAMIENTO
DE MOLDES PARA ENVASES DE VIDRIO**

Jorge Bernardo Silva

Asesorado por el Ing. José Arturo Estrada Martínez

Guatemala, octubre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO PARA COMPRA, MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE UN
VENTILADOR CENTRÍFUGO PARA ENFRIAMIENTO DE MOLDES PARA
ENVASES DE VIDRIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE BERNARDO SILVA

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ARTURO ESTRADA MARTÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yasminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO


DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Sanabria Solchaga
SECRETARÍA	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ESTUDIO PARA LA COMPRA, MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE UN
VENTILADOR CENTRÍFUGO PARA ENFRIAMIENTO DE MOLDES PARA
ENVASES DE VIDRIO,

tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Mecánica con fecha 22 de marzo de 2006.



Jorge Bernardo Silva

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA**

Guatemala. 25 de septiembre de 2006

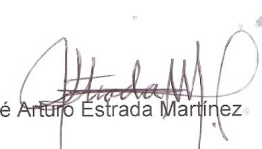
Ingeniero
Fredy Mauricio Monroy Peralta
Director Escuela de Mecánica
Facultad de Ingeniería, USAC
Presente

Ingeniero Monroy:

Por este medio informo a usted, que como Asesor del estudiante JORGE BERNARDO SILVA, procedí a revisar el trabajo de graduación titulado **"ESTUDIO PARA LA COMPRA, MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE UN VENTILADOR CENTRIFUGO PARA ENFRIAMIENTO DE MOLDES PARA ENVASES DE VIDRIO"**, el cual encuentro satisfactorio.

En tal virtud, LO DOY POR APROBADO, solicitándole proceder con el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me suscribo atentamente


Ing. José Arturo Estrada Martínez
Asesor

José Arturo Estrada Martínez
Ingeniero Mecánico
Colegiado 5216

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

"Todo por ti Carolingia mía"
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su nacimiento

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado ESTUDIO PARA COMPRA, MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE UN VENTILADOR CENTRÍFUGO PARA ENFRIAMIENTO DE MOLDES PARA ENVASES DE VIDRIO, del estudiante Jorge Bernardo Silva, recomienda su aprobación.

Y ENSEÑAR A TODOS

CARLOS H. PEREZ
ING. MECANICO INDUSTRIAL

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, octubre de 2006.

/bchdci

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

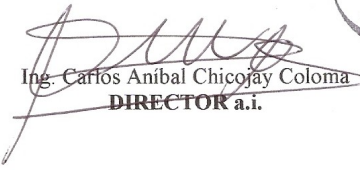


FACULTAD DE INGENIERIA

"Todo por ti Carolingia mía"
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su nacimiento

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área Complementaria, al trabajo de graduación, ESTUDIO PARA COMPRA, MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE UN VENTILADOR CENTRÍFUGO PARA ENFRIAMIENTO DE MOLDES PARA ENVASES DE VIDRIO del estudiante **Jorge Bernardo Silva**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Anibal Chicojáy Coloma
DIRECTOR a.i.



Guatemala, octubre de 2006.

/behdei

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.398.2006

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO PARA COMPRA, MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE UN VENTILADOR CENTRÍFUGO PARA ENFRIAMIENTO DE MOLDES PARA ENVASES DE VIDRIO**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Bernardo Silva** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, Octubre 19 de 2006

/gdech

Todo por ti, Carolina Mía
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

AGRADECIMIENTO A:

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Por recibirme en sus aulas.

Ingeniero José Arturo Estrada Martínez

Por ocupar su tiempo en asesorarme para la realización del presente trabajo de graduación.

Ingeniero Jorge Rentz

Por ayudarme con sus conocimientos y experiencia.

Mis amigos Raúl Dávila y Mario Gramajo

Por su ayuda, apoyo y, sobre todo, por la gran amistad que me han brindado.

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Por estar siempre conmigo.
- MIS PADRES** **Stanley y Dora Pearse**, por su apoyo y amor incondicional.
- MI ESPOSA** **Lisbeth**, por ser la felicidad de mi vida.
- MIS HIJOS** Por todo el amor que me brindan.
- MIS HERMANAS** **Rosa, Chiqui y Esperanza**, por quererme tanto.
- MIS PRIMOS** **Juan Carlos y Héctor**, por brindarme siempre su ayuda y cariño.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	XI
1. FABRICACIÓN DE ENVASES DE VIDRIO	1
1.1 Materia prima	1
1.2 Tipos de vidrio	2
1.3 Proceso de elaboración del vidrio	3
1.3.1 Recepción de materia prima	3
1.3.2 Preparación de las mezclas	4
1.3.3 Fusión de la mezcla y refinación del vidrio	5
1.3.4 Acondicionamiento del vidrio	6
1.4 Fabricación del envase	7
1.4.1 Proceso soplo y soplo	8
1.4.2 Proceso prensa y soplo	9
1.4.3 Recocido del envase	10
1.4.4 Inspección del envase formado	10
2. VENTILADORES CENTRÍFUGOS	11
2.1 Rueda, carcasa y <i>dampers</i>	12
2.2 Rodamientos	18

3. CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR	25
3.1 Volumen y velocidad de descarga	27
3.2 Presión de trabajo	28
3.3 BHP	30
3.4 Motor eléctrico	31
4. MONTAJE	35
4.1 Cimentación y anclaje	35
4.2 Alineación del eje motriz	39
5. MANTENIMIENTO	45
5.1 De la carcasa y rueda	45
5.2 Del <i>damper</i>	47
5.3 De los rodamientos	49
5.4 Del motor eléctrico	49
6. ANÁLISIS ECONÓMICO	53
6.1 Valor real del equipo	53
6.2 Costo de la instalación	54
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS	61
BIBLIOGRAFÍA	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Rueda impulsora simple	13
2	Puerta para inspección	14
3	Conducto para drenar condensado	15
4	Carcasa de aspiración simple de descarga horizontal	15
5	Malla protectora	16
6	Malla protectora en la entrada de aire	16
7	Reguladores de tiro	17
8	Rodamiento rígido de bolas de una hilera sin sello	18
9	Rodamiento rígido de bolas de una hilera con sello protector	19
10	Gráfico para el cálculo de duración de un rodamiento	21
11	Ventilador centrífugo con descarga en ángulo a 45°	26
12	Montaje del motor eléctrico con respecto al ventilador	27
13	Dimensiones del motor eléctrico con marco 449TS según NEMA	33
14	Dimensiones de la base para el montaje del equipo	37
15	Vista lateral del montaje	38
16	Detalle del acople para el eje	40
17	Montaje de los sellos y los cubos	41
18	Alineación angular	42
19	Alineación paralela	43
20	Colocación de la rejilla	44
21	Colocación de la cubierta	44
22	Espacio necesario mínimo para el desmontaje de la rueda	46
23	Detalle del <i>damp</i> er	48

TABLAS

I	Elementos que conforman los diferentes tipos de vidrio	3
II	Valores de C/P para diferentes duraciones de L10	22
III	Valores de C/P para diferentes duraciones de L10h	23
IV	Especificaciones del ducto	28
V	Valores de BHP y RPM para distintos valores de presión estática	30
VI	Potencia y voltaje para motores trifásicos TEFC	32
VII	Dimensiones del motor en centímetros	33
VIII	Elementos del montaje	39
IX	Síntesis de mantenimiento	51
X	Desglose del costo del equipo en dólares americanos	54
XI	Detalle de salarios	55

GLOSARIO

Alabes	Elementos curvos colocados en la periferia de una rueda para impulsar un fluido.
Anclaje	Fijar maquinaria o equipo a un punto fijo.
Barométrica	Presión atmosférica medida con un barómetro.
Carcasa	Cubierta exterior de la maquinaria o equipo que protege los mecanismos internos.
Centrífugo	Que se aleja del centro
Cimentación	Base utilizada para la colocación de maquinaria o equipo.
Condensado	Transformación de un estado gaseoso a líquido.
<i>Damper</i>	Mecanismo utilizado para regular el paso de aire.
Flecha	Elemento cilíndrico utilizado para transmitir movimiento.
Granulometría	Análisis del tamaño de los granos en una mezcla.
Homogénea	Compuesto cuyos elementos son de igual naturaleza.
Rodamientos	Elementos utilizados para montar elementos que giran.

Rodete Rueda utilizada para impulsar un fluido.

Vapor Estado gaseoso de cualquier sustancia pura.

RESUMEN

Los modernos hornos de fabricación de envases de vidrio tienen la capacidad de producir varios cientos de miles de envases diarios. La temperatura a la cual el vidrio es introducido en los moldes es de 1,100 °C, temperatura suficiente para cambiar la microestructura interna del acero del cual están fabricados los moldes. De ahí, la necesidad de utilizar un ventilador para enfriar dichos moldes.

Los ventiladores centrífugos son los indicados para dicha aplicación debido a su capacidad de manejar grandes flujos de aire. La adquisición de este tipo de equipo supone una inversión importante de cientos de miles de dólares, por lo que se requiere de un elaborado estudio para su correcta selección.

El estudio para la selección correcta del ventilador y el motor eléctrico que lo impulsará, se inició con el análisis del ducto que conducirá el aire desde el ventilador hasta los moldes, con el objeto de determinar las pérdidas de presión. Generalmente, se utiliza la pérdida de presión estática. Con la pérdida de presión estática, se determinó, por medio de tablas los BHP y las RPM del ventilador. Con los datos del ventilador se determinó por medio de tablas las características del motor eléctrico necesario para impulsar el ventilador.

Se realizó un estudio detallado para el correcto montaje del equipo, así como para un adecuado mantenimiento de todos sus componentes.

Por medio de una investigación se determinó el costo actual de un equipo con las características determinadas en el estudio técnico, incluyendo su transporte hasta la planta en Guatemala, así como su montaje.

OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar una guía práctica que describa los parámetros a tomar en cuenta para la correcta elección, montaje y mantenimiento de un ventilador centrífugo.

ESPECÍFICOS

1. Describir los principios básicos de la elaboración de vidrio y la fabricación de envases de vidrio.
2. Presentar la teoría de funcionamiento de los ventiladores centrífugos.
3. Hacer un análisis técnico para determinar el tipo de ventilador necesario para cumplir con las funciones requeridas.
4. Describir los conceptos técnicos necesarios para el correcto montaje de los diferentes componentes.
5. Dar una guía práctica para el correcto mantenimiento de las diferentes partes y componentes.
6. Hacer un análisis de costos, para tener una idea clara del valor de adquisición y montaje de un equipo de esta clase.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se hará un análisis técnico-económico para la selección, compra, montaje y mantenimiento de un ventilador centrífugo para el enfriamiento de moldes utilizados en la fabricación de envases de vidrio. Se analizarán factores tales como tamaño del ventilador, lo cual dependerá del espacio físico disponible para la instalación del mismo, diseño de las ruedas, rango de presiones, temperatura y sentido de la rotación de los alabes.

Se harán cálculos por medio de ecuaciones, tablas y/o gráficas para encontrar variables tales como caballos de potencia al freno (BHP) potencia límite de descarga (LLHP) velocidad de salida (OV) presión estática (SP) volumen de aire (CFM) y ángulo de descarga. Se establecerán los principios básicos para el correcto mantenimiento del ventilador y sus diferentes componentes tales como dampers y motor eléctrico.

Por último, se hará un análisis de costos, el cual incluirá: costo del equipo- costo real del equipo, empaque, flete terrestre y marítimo, seguro de embarque- y el costo de instalación.

1. FABRICACIÓN DE ENVASES DE VIDRIO

1.1 Materia prima

El vidrio se forma con diferentes tipos de sales. El componente más importante es el dióxido de silicio en forma de arena. Para fabricar el vidrio común se añaden carbonato sódico y piedra caliza (carbonato de calcio). El tono verdoso del vidrio antiguo se debe a las impurezas de hierro de la arena. Los vidrios modernos incorporan otros ingredientes para mejorar el color y algunas de sus propiedades, por ejemplo, la resistencia al calor. La cantidad aproximada de materia primara necesaria para la fabricación de una tonelada de vidrio es: 665 Kg. de arena silica, 216 Kg. de carbonato de sodio anhidro, 216 Kg. de piedra caliza y 75 Kg. de feldespatos.

El vidrio es el material mas utilizado para la fabricación de envases, al no contar con contraindicación de uso alguna. Está presente prácticamente en totalidad de los sectores y en algunos de ellos en exclusiva, aunque es la industria agroalimentaria a la que más estrechamente ligado se encuentra.

Dentro de esta industria, lidera de forma absoluta algunos segmentos como vino, cava o cervezas, conviviendo con el resto de materiales en otros como refrescos, aguas, zumos o conservas.

Es un material de estructura amorfa, que se obtiene por enfriamiento rápido de una masa fundida lo cual impide su cristalización. De aquí surge otra definición que dice que el vidrio es un líquido sobre enfriado. Esto quiere decir, de altísima viscosidad a temperatura ambiente, por lo que parece un sólido. Cuando se encuentra a 1,450 °C es un líquido de baja viscosidad. A esa temperatura su viscosidad es parecida a la de la miel. A temperatura ambiente el vidrio se comporta estructuralmente como un líquido congelado, dicho de otra forma es un líquido que se enfría tan rápidamente que es imposible que se formen cristales. Cuando el vidrio se enfría lentamente se forman cristales de vidrio, fenómeno que se conoce como desvitrificación. Los artículos hechos con vidrio desvitrificado tienen poca resistencia física.

1.2 Tipos de vidrio

Se encuentran, por ejemplo, los borosilicatos, que tienen la particularidad de tener un bajísimo coeficiente de expansión, razón por la cual se utilizan para hacer el vidrio refractario. Y el cristal que tiene óxido de plomo, razón por la cual, cualquier objeto hecho con este vidrio, como ceniceros, floreros entre otros, son bastante pesados.

Los diferentes tipos de vidrios son hechos a base de otros materiales, como se puede ver en la tabla I.

Tabla I. Elementos que conforman los diferentes tipos de vidrio.

Vidrios de elementos:	Azufre, selenio, Telurio y fósforo	
Vidrios Inorgánicos	Óxidos	1. Puros: SiO_2 , Bo_2O_3 , Pb_2O_5 , As_2O_5 2. Mezclas con algunos de los anteriores: Al_2O_3 , Ga_2O_3 , TiO_2 ; alcalinos y alcalinotérreos: cal y CaO ; soda, Na_2O
	Sulfuros	Sulfuro de Arsénico, As_2S_3
	Haluros	Fluoruro de Berilio, BeF_2 , Cloruro de Zinc, ZnCl_2
	Nitratos	Mezclas de Nitrato de Sodio y de Calcio
	Sulfatos	Sulfato de Potasio, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$
	Carbonatos	Mezclas de Carbonato de Potasio y Magnesio
	Fluoruros	Fluoruro de Aluminio, AlF_3 y fluoruro de Berilio, BeF_2
Vidrios Orgánicos	Moléculas simples	Éter etílico, glicerina, alcohol metálico, glucosa y sacarosa
	Polímeros	Polietileno y otros materiales plásticos
Vidrios Metálicos		Aleaciones de silicatos de oro y de paladio, aleaciones de telurio cobre y oro, aleaciones del grupo de platino con otros metales

1.3 Proceso de elaboración del vidrio

El proceso para la elaboración del vidrio se puede dividir en las siguientes etapas.

1.3.1 Recepción de Materias Primas

En esta etapa se garantiza un control operativo y técnico en las materias primas para verificar su calidad físico - química, para la producción del vidrio.

La operación esencial en esta etapa es la realización de los análisis físicos y químicos realizados a la materia prima, los cuales verifican el cumplimiento de las especificaciones. Primero se debe cumplir con el requisito de la granulometría, es decir, el tamaño de los granos de cada material, el cual, debe estar entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de milímetro. Para el feldespatos y la arena se debe cumplir unos requisitos, tales como tener una composición química estable y determinada. La arena no debe contener arcillas y su contenido de óxidos de hierro debe ser lo mas bajo posible. De acuerdo al resultado del análisis, si el producto está conforme con las especificaciones se define su disposición para ser utilizado posteriormente; si la materia prima no cumple con las especificaciones se procede a darles el manejo preestablecido como productos no adecuados.

1.3.2 Preparación de las mezclas

La preparación de la mezcla se puede dividir en cuatro partes:

1. Almacenamiento: consiste en ubicar las distintas materias primas en diferentes sitios de almacenamiento en donde permanecerán hasta su utilización.
2. Pesaje: siguiendo la formulación previamente establecida se pesa cada uno de los componentes mediante mecanismos automáticos y en las proporciones determinadas.
3. Mezclado: Luego de ser pesadas cada una de las materias primas, son enviadas a las mezcladoras en donde, por un tiempo previamente establecido y con una adición específica de agua, los componentes son mezclados totalmente.

4. Transporte: Finalmente la mezcla es enviada por medio de elevadores y transportadores hasta los silos donde queda finalmente lista para ser cargada al horno.

1.3.3 Fusión de la mezcla y refinación del vidrio

El horno es el sitio donde se lleva a cabo la fusión de las materias primas. Consiste en un recipiente rectangular construido con materiales refractarios resistentes al desgaste producido por el vidrio líquido y las llamas. El horno utiliza como combustible el Crudo de Castilla para producir el calor, por medio de dos quemadores, los cuales funcionan alternadamente veinte veces cada uno. Por uno de sus extremos se carga la mezcla, mientras que por el otro se extrae el vidrio fundido. Posteriormente hay una entrada de aire de 1,000 °C, con el fin de enfriar el vidrio que se encuentra dentro del horno. Los gases producidos por el horno son expulsados por los regeneradores (1,300 °C).

El primer proceso que se identifica claramente en el horno es el de fusión; aquí todas las materias primas no son propiamente fundidas, sino que al suministrarles calor primero se descomponen y después reaccionan; así pues los componentes que poseen menor punto de fusión se vuelven líquidos más rápido que los que tienen mayor punto de fusión (para la sílice es mayor de 1,600 °C, y para el casco entre 1,050 y 1,100 °C); a medida que va aumentando la temperatura estos últimos también se funden y desaparecen como materiales cristalinos.

A continuación se realiza el proceso de refinación, en el cual se eliminan las “semillas” (gran número de pequeñas burbujas que se originan a partir de las reacciones de las materias primas); este proceso empieza casi simultáneamente con el proceso de fusión y continúa hasta que la mezcla de materias primas esté completamente líquida.

Luego el vidrio fundido pasa a un segundo tanque, llamado tanque de refinación, donde se intenta igualar la temperatura del vidrio en toda su extensión, para posteriormente repartirlo a las máquinas formadoras por medio de los canales.

1.3.4 Acondicionamiento del vidrio

El canal es el encargado de enviar el vidrio desde el horno hasta el lugar donde están las máquinas formadoras de envases. Durante este trayecto se disminuye la temperatura del vidrio gradualmente (con lo cual aumenta su viscosidad), de tal manera que al final del canal se obtenga el vidrio en un estado en el que se pueda modelar, correspondiendo a una cierta temperatura para fabricar una botella determinada.

Se denomina acondicionar el vidrio al hecho de controlar la temperatura en el flujo del vidrio que está dentro de la canal desde refinación hasta el orificio refractario y se forme la gota.

La homogeneidad de la mezcla del vidrio se mide revisando las temperaturas existentes desde el fondo hasta la superficie y de lado a lado a la entrada del tazón (última sección del canal antes de las máquinas I.S.); estas temperaturas afectan directamente la distribución del vidrio en la botella, la forma de la gota, y su cargue en la máquina, por esto una falla en esta parte del proceso puede resultar en la formación de botellas deformes, con una masa mal distribuida y, por lo tanto más frágiles. Para obtener una temperatura uniforme en el vidrio se deben tener en cuenta las pérdidas de calor existentes a través del techo, las paredes y el piso del canal, así como el calor suministrado por los quemadores. Igualmente para acondicionar el vidrio, es necesario tener en cuenta el color del vidrio, la cantidad de vidrio que extrae cada máquina, la forma de la botella, la cantidad de aire disponible para enfriar el equipo de moldura de la máquina y la velocidad de fabricación de la máquina.

1.4 Fabricación del envase

Una vez se ha acondicionado el vidrio, en el alimentador se forma la gota de vidrio con el peso correcto y la forma deseada por medio de un sistema de partes refractarias compuesto por un tubo que controla el flujo de vidrio hacia el orificio, una aguja que impulsa intermitentemente el vidrio hacia el orificio, que determina la cantidad de vidrio que tendrá la gota. Para formar la gota el flujo de vidrio se corta por el sistema de tijera.

Posteriormente, la gota se hace llegar a la máquina I.S. mediante el equipo de entrega, que consiste en una cuchara, encargada de recibir la gota, un canal por donde la gota resbala hacia cada sección y un deflector que la entrega al equipo de moldura. La sigla I.S. significa máquinas de secciones independientes, en estas una sección se puede parar sin afectar el funcionamiento de las otras o de la máquina completa. Las empresas vidrieras utilizan en la actualidad máquinas de 6, 8, 10 y 12 secciones. Cada sección puede fabricar una botella (gota sencilla) o dos botellas (doble gota). Las botellas se pueden fabricar en dos procesos básicos soplo y soplo (S.S.) y prensa y soplo (P.S.).

Para formar una botella se necesita de la moldura; que generalmente está hecha de fundición o en aleaciones metálicas especiales (el valor de cada molde está alrededor de los cien mil dólares). Las piezas usadas son: la camisa, la aguja y la boquillera para formar el terminado; el premolde, la tapa y el embudo para formar el parison o preforma de la botella; y el molde, el fondo y la sopladora, para formar la botella. Las pinzas se encargan de sacar la botella del lado del molde hacia la plancha muerta en donde se traslada hacia el transportador, mediante los barredores, el cual finalmente la llevará al área de recocido.

1.4.1 Proceso soplo y soplo

Después de lograr el cargue de la gota (1) en el premolde se utiliza aire comprimido para empujar el vidrio y formar el terminado (2. soplo inicial); Después con aire comprimido se sopla el vidrio hacia arriba, formándose así la burbuja y el parison, de una forma limitada por el premolde y la tapa (3 contrasoplo).

Luego el parisón se transfiere al molde (4) y nuevamente con aire comprimido a través de la sopladora se infla el parisón hasta llenar la cavidad del molde (5 Soplo final). Después de esto la botella es retirada del molde (6) y puesta sobre el transportador de línea, mediante los barredores, quién se encarga de llevarla al área de recocido.

1.4.2 Proceso prensa y soplo

El proceso de prensa y soplo se ha desarrollado para obtener botellas de boca ancha (proceso tradicional) o de boca estrecha (proceso conocido como NNPB).

El mecanismo utilizado para el proceso de prensa y soplo es el mismo que se utiliza para el mecanismo de soplo y soplo, cambiando algunos aditamentos que lo hacen funcionar de manera diferente. La principal diferencia radica en que la acción que realiza el contrasoplo es efectuada por un macho, el cual se encarga de dar la preforma a la gota para formar el parison; las demás etapas son similares.

La gota de vidrio cae en el premolde (1). Inmediatamente el vidrio entra al premolde, la tapa baja. El macho empieza a subir, a una presión controlada, forzando al vidrio a llenar todos los vacíos, incluyendo la cavidad de la boquillera, formándose así el parisón (2). Luego, el macho baja, la tapa sube y el premolde abre. Enseguida, el parisón es transferido al molde (3). El parisón continúa su recalentamiento y estiramiento en el lado del molde. A continuación, se aplica aire comprimido para soplar el vidrio hasta llenar la cavidad del molde; también se aplica vacío para reforzar el contacto del vidrio con el molde (4).

Este contacto con el molde más la circulación del aire del soplo final enfrían el vidrio. Después de abrir el molde, las pinzas trasladan el envase hasta la plancha muerta (5) y el mecanismo barredor lo ubica sobre el transportador. Con el aire de enfriamiento de los alrededores del envase continúa el proceso de remoción de calor hasta que el vidrio alcanza una temperatura que asegura la estabilidad de su forma.

1.4.3 Recocido del envase

Cuando se forma la botella, el vidrio se enfría muy rápido, creándose una gran cantidad de esfuerzos internos, que debilitan la botella. El área de recocido es la encargada de aliviar esas tensiones.

En el área de recocido se calienta de nuevo la botella ya formada a una temperatura de unos 550 °C, durante unos diez minutos, disminuyendo luego lenta y controladamente la temperatura, teniendo como base una curva de temperatura que garantiza alivio de tensiones y el surgimiento de nuevos esfuerzos en la botella.

1.4.4 Inspección del envase formado

Después las botellas son conducidas por medio de bandas transportadoras hacia una zona de revisión, compuesta por una gran cantidad de dispositivos automáticos, dotados de sistemas capaces de detectar defectos provenientes de la formación de la botella; ahí se retiran de la línea de producción todas aquellas botellas que tengan defectos de forma y/o dimensionales, grietas, arrugas, distribución irregular del vidrio en las paredes del envase y resistencia, entre otros, garantizando así que la producción que se enviará al cliente sea de excelente calidad.

2. VENTILADORES CENTRÍFUGOS

Los ventiladores de gran tamaño son generalmente centrífugos. El principio de funcionamiento es exactamente el mismo que el de las bombas centrífugas. Los rodets se montan dentro de una carcasa construida con láminas de acero. A veces prácticamente toda la energía suministrada se convierte en energía de velocidad y casi nada en carga de presión.

En este tipo de ventiladores, el fluido entra a través de una abertura concéntrica con el eje del rotor que gira a gran velocidad y esta provisto de alabes solidarios con el mismo. El fluido circula entre los alabes hacia el exterior debido a la fuerza centrífuga y abandona el ventilador a una velocidad mayor a la de entrada.

La ciudad de Guatemala se encuentra a una altitud aproximada de 1458 metros sobre el nivel del mar, por lo que para los cálculos en el presente trabajo se pueden utilizar los valores estándar de aire seco, los cuales son:

Temperatura: 20 grados centígrados
Presión: 101.32 KPa (barométrica)
Densidad: 1.216 Kg/m³
Vol. Especifico: 0.820 m³/Kg

De la ecuación de Bernoulli tenemos

$$P + 1/2(\rho)(V)^2 + \rho gH = \text{cte}$$

Donde $(P+\rho gH)$ es la presión estática y $[1/2(\rho)(V)^2]$ es la presión dinámica.

Cuando se trabaja con ventiladores es usual describir su funcionamiento en términos del salto de presión total, ΔP , en lugar de altura de impulsión, H , como función del caudal, Q . La relación entre la diferencia de presión y la altura de impulsión es:

$$\Delta P = \rho gH$$

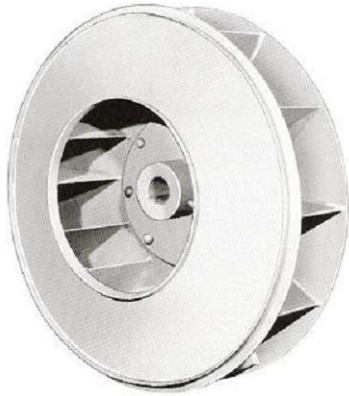
Para cualquier combinación de flujo volumétrico (CFM) y presión estática equivalente (SP) se puede por medio de graficas, tablas y/o ecuaciones, obtener la velocidad del ventilador (RPM) caballos de potencia al freno (BHP) limite de carga en caballos de potencia (LLHP) velocidad de salida (OV) y clase de ventilador. Las ecuaciones a utilizar son:

1. Presión estática equivalente= (presión estática real)/(relación de densidad)
2. BHP (real)=(tabla de BHP)x(relación de densidad)
3. % de eficiencia estática= $[(CFM) \times (SP) / (6360)(BHP)] \times 100$
4. Velocidad de salida=CFM/(área de salida)
5. Caballos de potencia del motor=BHP+perdida de impulso
6. Limite de carga en HP=factor de limite de carga en HPx[RPM/1000]³

2.1 Rueda, carcasa y *damp*er

Las ruedas son diseñadas con diferentes tipos de alabes, tanto en forma como en ángulo. Uno de los diseños utilizados se muestra en la figura 1. Este diseño reduce las perdidas de presión y provee un flujo uniforme de aire a través de la rueda.

Figura 1. Rueda impulsora simple



Fuente: Buffalo forge, **Industrial fans**. Pág. 4

Son diseñadas aerodinámicamente, incluyen características para evitar sobrecargas en los caballo de potencia, las superficies donde fluye el aire son lisas, todo lo anterior con el fin de obtener una alta eficiencia en un amplio rango. El eje se fabrica en fundición y se sobre dimensiona, creando una relación grande entre el eje y la rueda. El correcto diseño de las ruedas permite una alta resistencia a la fatiga, minimiza las vibraciones y reduce el ruido.

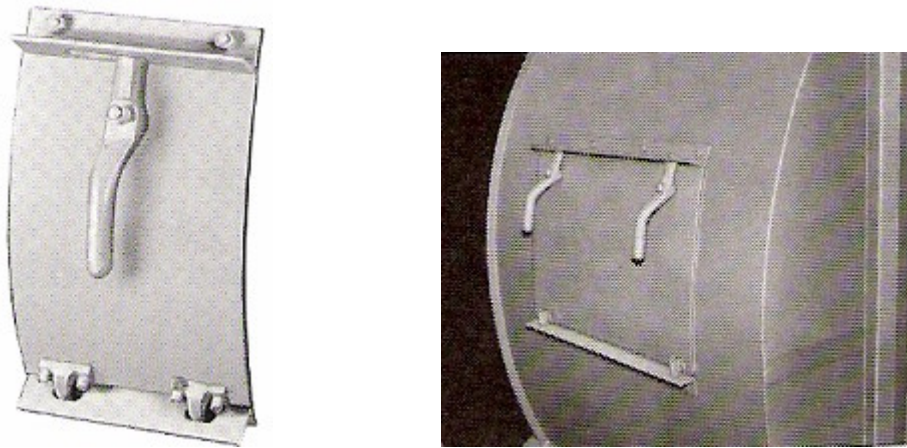
La base del eje se remacha fuertemente al plato posterior, con tolerancias mínimas para proveer un ajuste deslizable al eje. Todas las ruedas deben ser balanceadas estática y dinámicamente antes de ser ensambladas en el ventilador, y debe hacerse un balanceo final después del montaje del ventilador.

El eje se manufactura en torno de precisión o CNC (control numérico computarizado) y se pule de acuerdo a la norma ASTM-A108, en acero de alto grado y se ajusta a la rueda por medio de tornillos. Todo el ensamble rotacional es diseñado para evitar las vibraciones y para una velocidad critica de por lo menos 125% de la máxima velocidad de diseño del ventilador.

La carcasa se fabrica con un diseño aerodinámico, con una entrada de aire en forma de campana toroidal. El correcto diseño de la carcasa minimiza la turbulencia, facilita la circulación del aire, optimiza la conversión de la presión estática y produce una buena distribución de presión. Se manufactura en acero de alto calibre con rodamientos y eje montados en soportes rígidos.

Las carcasas se fabrican de modo que sea relativamente fácil la remoción de la rueda, el eje y los rodamientos, sin afectar la integridad estructural de dicha carcasa. En algunos casos vienen provistas de una pequeña puerta de acceso (figura 2) para una fácil y rápida inspección de su interior, así como un pequeño conducto (figura 3) para drenar el condensado.

Figura 2. Puerta para inspección



Fuente: Buffalo forge, **Industrial fans**. Pág. 5

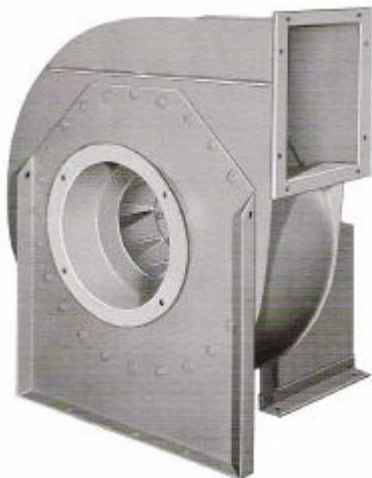
Figura 3. Conducto para drenar el condensado



Fuente: Buffalo forge, **Industrial fans**. Pág. 5

Un ejemplo de una carcasa se muestra en la figura 4. En dicha figura puede observarse un ventilador de descarga horizontal, también puede apreciarse el cono de entrada de aire.

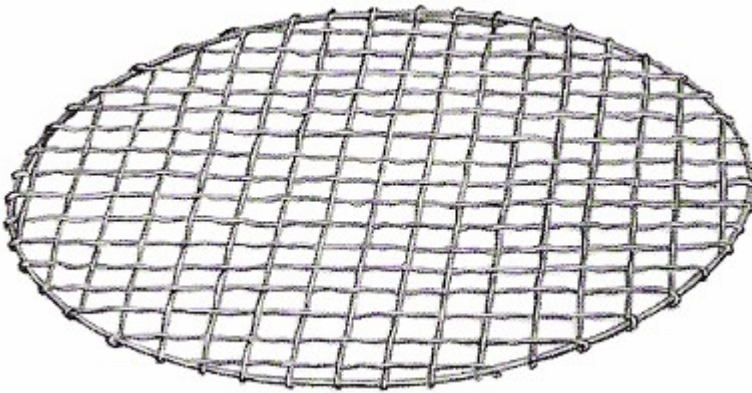
Figura 4. Carcasa de aspiración simple de descarga horizontal



Fuente: Buffalo forge, **Industrial fans**. Pág. 4

En la entrada de aire, se coloca una malla (figura 5 y 6) fabricada de alambre grueso. Esta malla tiene como fin prevenir que el ventilador aspire algún objeto que podría dañarlo.

Figura 5. Malla protectora



Fuente: buffalo forge, **Industrial fans**. Pág. 5

Figura 6. Malla protectora en la entrada de aire

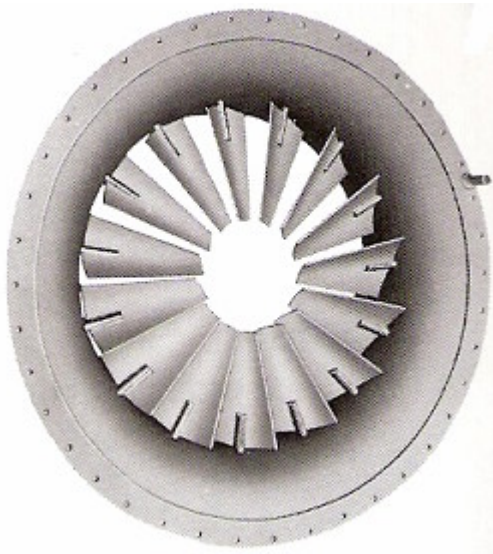


Fuente: Howden buffalo, **Ventilating fans BL centrifugal**. Pág. 7

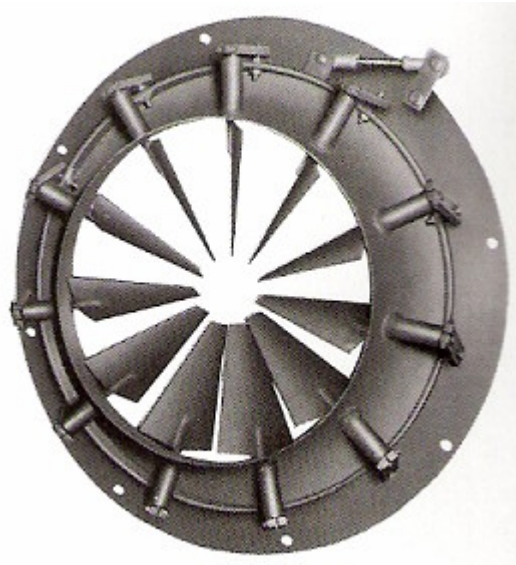
Los *dampers*, son reguladores de flujo o reguladores de tiro. Por medio de estos mecanismos se regula la cantidad de aire que entra y/o sale del ventilador. Se pueden accionar manualmente o a distancia por medio de mecanismos electrónicos o neumáticos. En la figura 7 se puede observar la parte frontal y posterior de un *damper* circular.

Figura 7. Reguladores de tiro

Vista frontal



Vista posterior



Fuente: Howden buffalo, **Ventilating fans BL centrífugal**. Pág. 4

2.2 Rodamientos

Los rodamientos en los cuales se apoya la flecha que hace girar la rueda del ventilador deben de ser para carga o trabajo pesado. Los rodamientos pueden ser rígidos de bolas, abiertos lubricados con aceite o grasa (figura 8), o pueden ser prelubricados y poseer placas de protección (figura 9). Los rodamientos rígidos de bolas con una hilera son de diseño sencillo, no desmontables, adecuados para alta velocidad de funcionamiento, un amplio rango de temperaturas y requieren poco mantenimiento.

Figura 8. Rodamiento rígido de bolas de una hilera sin sello.



Fuente: SKF, **Catálogo general**. Pág. 110

Figura 9. Rodamiento rígido de bolas de una hilera con sello protector



Fuente: SKF, **Catálogo general**. Pág. 110

Los rodamientos a utilizar dependen de la velocidad de rotación del ventilador lo cual también determina la temperatura máxima de funcionamiento permisible, magnitud de la carga, dirección de la carga (axial y/o radial), desplazamiento axial, espacio disponible para el montaje y duración del rodamiento.

Los rodamientos adecuados para esta aplicación deben tener un mínimo de duración nominal, la cual se puede expresar en millones de revoluciones (L_{10}) o en horas de servicio (L_{10h}). Las ecuaciones para calcular la duración nominal de un rodamiento rígido de bolas son:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{o} \quad C/P = (L_{10})^{1/p} \quad \text{donde}$$

L_{10} : Duración nominal, en millones de revoluciones

C : Capacidad de carga dinámica, en Newtons (N)

P : Carga dinámica equivalente sobre el rodamiento, en N

p : Exponente de la formula de la duración, siendo igual a 3 para rodamientos de bolas y 10/3 para rodamientos de rodillos

Para el cálculo de duración nominal en horas de servicio, la ecuación es:

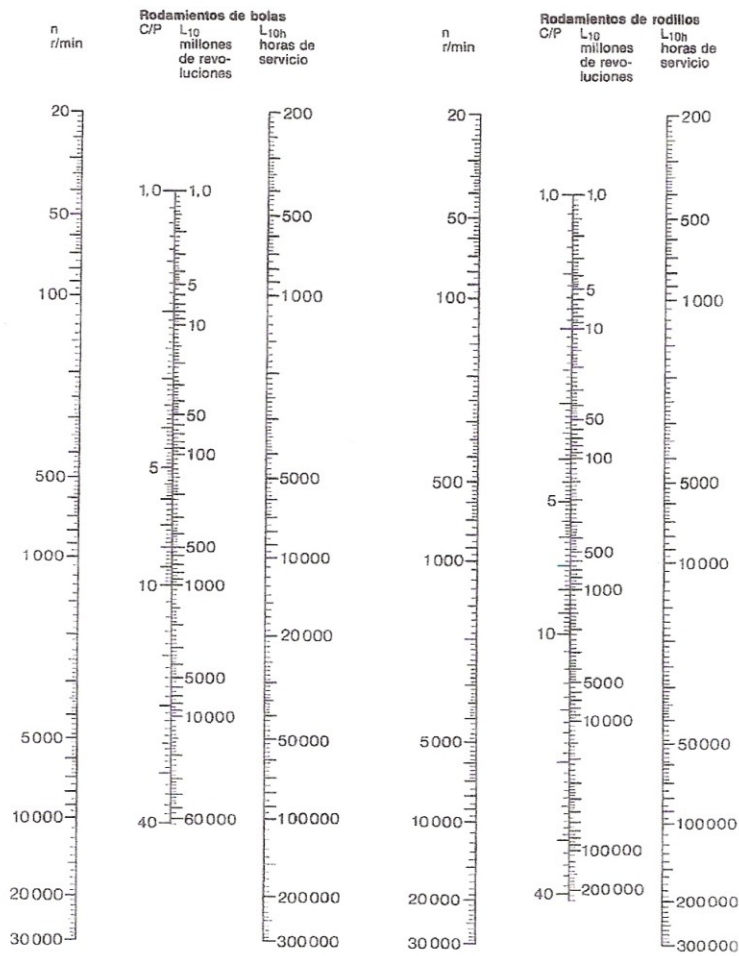
$$L_{10h} = (1\ 000\ 000 / 60n) [(C/P)^p] \quad \text{donde}$$

L_{10h} : Duración nominal en horas de servicio

n : Velocidad constante de rotación en revoluciones por minuto (RPM)

La relación C/P tanto para (L_{10}) como para (L_{10h}) se puede obtener de la figura 10 y de las tablas II y III que se muestran a continuación.

Figura 10. Gráfico para el cálculo de duración de un rodamiento



Fuente: SKF, **Catálogo general**. Pág. 29

Tabla II. Valores de C/P para diferentes duraciones de L₁₀, en millones de revoluciones

L ₁₀	C/P	L ₁₀	C/P	L ₁₀	C/P	L ₁₀	C/P
0,5	0,793	600	8,43	0,5	0,812	600	6,81
0,75	0,909	650	8,66	0,75	0,917	650	6,98
1	1	700	8,88	1	1	700	7,14
1,5	1,14	750	9,09	1,5	1,13	750	7,29
2	1,26	800	9,28	2	1,24	800	7,43
3	1,44	850	9,47	3	1,39	850	7,56
4	1,59	900	9,65	4	1,52	900	7,70
5	1,71	950	9,83	5	1,62	950	7,82
6	1,82	1 000	10	6	1,71	1 000	7,94
8	2	1 100	10,3	8	1,87	1 100	8,17
10	2,15	1 200	10,6	10	2	1 200	8,39
12	2,29	1 300	10,9	12	2,11	1 300	8,59
14	2,41	1 400	11,2	14	2,21	1 400	8,79
16	2,52	1 500	11,4	16	2,30	1 500	8,97
18	2,62	1 600	11,7	18	2,38	1 600	9,15
20	2,71	1 700	11,9	20	2,46	1 700	9,31
25	2,92	1 800	12,2	25	2,63	1 800	9,48
30	3,11	1 900	12,4	30	2,77	1 900	9,63
35	3,27	2 000	12,6	35	2,91	2 000	9,78
40	3,42	2 200	13	40	3,02	2 200	10,1
45	3,56	2 400	13,4	45	3,13	2 400	10,3
50	3,68	2 600	13,8	50	3,23	2 600	10,6
60	3,91	2 800	14,1	60	3,42	2 800	10,8
70	4,12	3 000	14,4	70	3,58	3 000	11
80	4,31	3 200	14,7	80	3,72	3 200	11,3
90	4,48	3 400	15	90	3,86	3 400	11,5
100	4,64	3 600	15,3	100	3,98	3 600	11,7
120	4,93	3 800	15,6	120	4,20	3 800	11,9
140	5,19	4 000	15,9	140	4,40	4 000	12
160	5,43	4 500	16,5	160	4,58	4 500	12,5
180	5,65	5 000	17,1	180	4,75	5 000	12,9
200	5,85	5 500	17,7	200	4,90	5 500	13,2
220	6,04	6 000	18,2	220	5,04	6 000	13,6
240	6,21	6 500	18,7	240	5,18	6 500	13,9
260	6,38	7 000	19,1	260	5,30	7 000	14,2
280	6,54	7 500	19,6	280	5,42	7 500	14,5
300	6,69	8 000	20	300	5,54	8 000	14,8
320	6,84	8 500	20,4	320	5,64	8 500	15,1
340	6,98	9 000	20,8	340	5,75	9 000	15,4
360	7,11	9 500	21,2	360	5,85	9 500	15,6
380	7,24	10 000	21,5	380	5,94	10 000	15,8
400	7,37	12 000	22,9	400	6,03	12 000	16,7
420	7,49	14 000	24,1	420	6,12	14 000	17,5
440	7,61	16 000	25,2	440	6,21	16 000	18,2
460	7,72	18 000	26,2	460	6,29	18 000	18,9
480	7,83	20 000	27,1	480	6,37	20 000	19,5
500	7,94	25 000	29,2	500	6,45	25 000	20,9
550	8,19	30 000	31,1	550	6,64	30 000	22

Fuente: SKF, **Catálogo general**. Pág. 30

Tabla III. Valores de C/P para diferentes duraciones L_{10h}, en horas de funcionamiento a diferentes RPM.

L _{10h}	C/P cuando n =													
	10	16	25	40	63	100	125	160	200	250	320	400	500	630
100	-	-	-	-	-	-	-	-	1,06	1,15	1,24	1,34	1,45	1,56
500	-	-	-	1,06	1,24	1,45	1,56	1,68	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67
1 000	-	-	1,15	1,34	1,56	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36
1 250	-	1,06	1,24	1,45	1,68	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63
1 600	-	1,15	1,34	1,56	1,82	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91
2 000	1,06	1,24	1,45	1,68	1,96	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23
2 500	1,15	1,34	1,56	1,82	2,12	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56
3 200	1,24	1,45	1,68	1,96	2,29	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93
4 000	1,34	1,56	1,82	2,12	2,47	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32
5 000	1,45	1,68	1,96	2,29	2,67	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75
6 300	1,56	1,82	2,12	2,47	2,88	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20
8 000	1,68	1,96	2,29	2,67	3,11	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70
10 000	1,82	2,12	2,47	2,88	3,36	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23
12 500	1,96	2,29	2,67	3,11	3,63	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81
16 000	2,12	2,47	2,88	3,36	3,91	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43
20 000	2,29	2,67	3,11	3,63	4,23	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11
25 000	2,47	2,88	3,36	3,91	4,56	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83
32 000	2,67	3,11	3,63	4,23	4,93	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6
40 000	2,88	3,36	3,91	4,56	5,32	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5
50 000	3,11	3,63	4,23	4,93	5,75	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4
63 000	3,36	3,91	4,56	5,32	6,20	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4
80 000	3,63	4,23	4,93	5,75	6,70	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5
100 000	3,91	4,56	5,32	6,20	7,23	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6
200 000	4,93	5,75	6,70	7,81	9,11	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6

L _{10h}	C/P cuando n =														
	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 200	4 000	5 000	6 300	8 000	10 000	12 500	16 000	
100	1,68	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	
500	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	
1 000	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	
1 250	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	
1 600	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	
2 000	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	
2 500	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	
3 200	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	
4 000	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	
5 000	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	
6 300	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	
8 000	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	
10 000	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	
12 500	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	
16 000	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	
20 000	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	
25 000	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	
32 000	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	
40 000	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	
50 000	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	
63 000	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	
80 000	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-	
100 000	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-	-	
200 000	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-	-	-	-	-	

Fuente: SKF, Catálogo general. Pág. 31

3. CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR

Las primeras características que se determinan de un ventilador son su disposición mecánica las cuales dependen únicamente de la posición física en la cual será instalado. En la disposición mecánica se determina el sentido de giro del ventilador, la posición de descarga y la posición del motor.

El sentido de giro se determina viendo el ventilador desde el lado opuesto a la entrada de aire. Tomando en cuenta lo anterior, el ventilador que se requiere para el presente trabajo debe ser un ventilador de descarga en ángulo a 45 grados (figura 11) de una sola entrada o entrada simple (SISW) rotación contraria a las manecillas del reloj (CCW) con un arreglo numero 8 con respecto al motor eléctrico (figura 12).

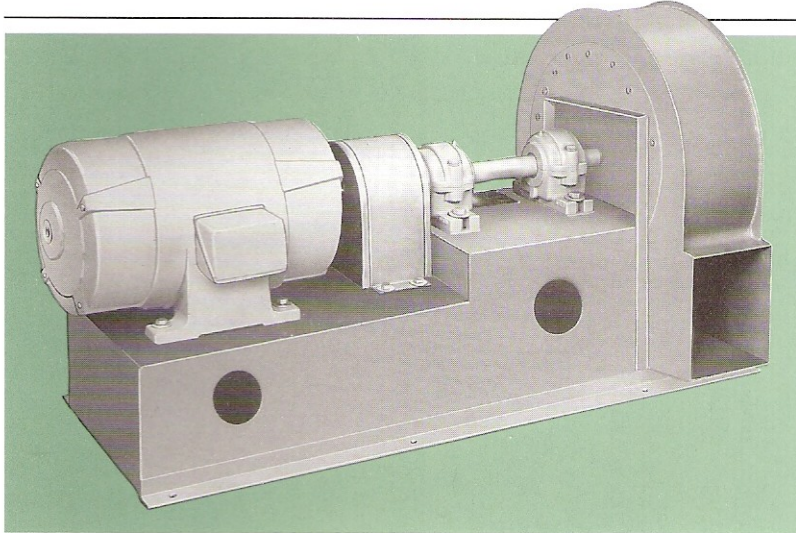
El arreglo numero 8 mostrado en la figura 12 se refiere exclusivamente a la posición del motor con respecto al ventilador no así al ángulo de descarga.

Figura 11. Ventilador centrifugo con descarga en ángulo a 45°



Fuente: HowdenBuffalo, **Centrifugal fans**. Pág. Portada

Figura 12. Montaje del motor eléctrico con respecto al ventilador (arreglo 8)



Fuente: Buffalo Forge, **Industrial exhauster model INX**. Pág. 4

3.1 Volumen y velocidad de descarga

El ventilador objeto del presente trabajo debe ser capaz de enfriar las molduras de los envases de vidrio de un horno con una capacidad promedio de 300,000 envases en 24 horas, lo cual requiere un volumen promedio de 736.34 metros cúbicos por minuto de acuerdo a normas técnicas utilizadas para el mismo fin en hornos de similares capacidades de producción de envases.

El ducto que se conectara a la salida del ventilador es rectangular con una altura de 62.9 centímetros y un ancho de 50.8 centímetros lo que es similar a un ducto redondo con un diámetro equivalente a 60.96 cm., por lo tanto la velocidad a la salida del ventilador será:

$$A = [3.1415 \times (60.96)^2] / 4 = 2,918.55 \text{ cm}^2 = 0.2919 \text{ m}^2$$

$$Q = V \times A, \quad V = Q/A \quad V = (736.34 \text{ m}^3/\text{min}) / (0.2919 \text{ m}^2)$$

$$V = 214.94 \text{ m/min} = 3.58 \text{ m/s}$$

3.2 Presión de trabajo

Para determinar la presión de trabajo o presión de descarga es necesario calcular las pérdidas por fricción y las pérdidas localizadas. El ducto consta de un tramo inclinado a 45 grados. Dicho tramo inclinado esta unido por medio de un codo de 45 grados a otro segmento horizontal el cual en su extremo tiene un codo a 90 grados donde se realiza la descarga por medio de una contracción rectangular.

Tabla IV. Especificaciones del ducto

Sección	Ángulo de inclinación	Longitud (m)	Diámetro equivalente (m)	Área (m ²)
1	45 grados	30	0.6096	0.2919
2	0 grados	8	0.6096	0.2919

La pérdida de presión por fricción en la sección 1 será:

$$H_f = (684.31 \text{ Pa}/30.48 \text{ m}) \times (30 \text{ m}) = 673.53 \text{ Pa}$$

Y en la sección 2:

$$H_f = (684.31 \text{ Pa}/30.48 \text{ m}) \times (8 \text{ m}) = 179.61 \text{ Pa}$$

La pérdida de presión en el codo a 45 grados será:

$$H_f = C_x[V/1.288]^2 = 0.345x[(3.58 \text{ m/s})/1.288]^2 = 2.67 \text{ Pa}$$

La pérdida de presión en el codo a 90 grados será:

$$H_f = 1.2x[(3.58 \text{ m/s})/(1.288)]^2 = 9.27 \text{ Pa}$$

En la descarga el ducto tiene una contracción rectangular gradual cuyas medidas son 29.85 cm de ancho por 41.91 cm de alto lo que equivale a un ducto circular con un diámetro de 38.10 cm. La pérdida de presión estática en esta sección estará determinada por la siguiente ecuación:

$$\text{Área}(2) = [(3.1415) \times (38.10 \text{ cm.})^2] / 4 = 1\,140.06 \text{ cm}^2 = 0.1140 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad}(2) = (736.34 \text{ m}^3/\text{min}) / (0.1140 \text{ m}^2) = 6,459.12 \text{ m/min} = 107.65 \text{ m/s}$$

$$H_s = [V_2/1.288]^2 - [V_1/1.288]^2$$

$$H_s = [(107.65 \text{ m/s})/1.288]^2 - [(3.58 \text{ m/s})/1.288]^2 = 6,978.02 \text{ Pa}$$

Se puede observar que las pérdidas de presión por fricción son mínimas en comparación con la pérdida de presión estática en la descarga, por lo tanto será esta pérdida de presión estática la que se utilizara para determinar el resto de las características del ventilador.

La pérdida de presión estática en la descarga de 6,978.02 Pa equivale a una presión de 28 pulgadas de agua. Se utilizara este dato debido al sistema de medidas empleado en los manuales técnicos sobre ventiladores. Por lo anterior, se necesita un ventilador que maneje un caudal de 12.27 metros cúbicos por segundo (26,000 CFM) con una presión estática de 6,978.02 Pa (28 plg de agua) en la descarga.

3.3 BHP

Teniendo el caudal y la presión estática en la descarga, se puede por medio de la tabla V determinar los caballos de potencia al freno (BHP) y las revoluciones por minuto (RPM) a las cuales debe funcionar el ventilador.

Tabla V. Valores de BHP y RPM para distintos valores de presión estática

CAP. CFM	Outlet Velocity FPM	Sound Spectrum Zone	23" S.P.		24" S.P.		25" S.P.		26" S.P.		27" S.P.		28" S.P.		29" S.P.		30" S.P.		31" S.P.			
			RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
10416	3200	E	1459	61.5	1489	64.3	1518	67.1	1546	70.0	1574	72.8										
11067	3400		1464	64.9	1493	67.8	1522	70.8	1550	73.7	1578	76.7	1605	79.7	1631	82.7	1658	85.7				
11718	3600		1469	68.4	1498	71.5	1527	74.5	1555	77.6	1582	80.7	1609	83.8	1636	86.9	1662	90.0	1687	93.2		
12369	3800		1475	72.1	1504	75.2	1532	78.4	1560	81.5	1587	84.7	1614	87.9	1640	91.2	1666	94.4	1692	97.7		
13020	4000		1481	75.8	1510	79.1	1538	82.3	1565	85.6	1592	88.9	1619	92.2	1645	95.6	1671	98.9	1695	102.		
13671	4200		1488	79.7	1516	83.0	1544	86.4	1571	89.8	1598	93.2	1625	96.6	1651	100.	1676	104.	1702	107.		
14322	4400		1495	83.6	1523	87.1	1551	90.6	1578	94.1	1605	97.6	1631	101.	1657	105.	1682	108.	1707	112.		
14974	4600		1503	87.7	1531	91.3	1558	94.9	1585	98.5	1611	102.	1637	106.	1663	109.	1688	113.	1713	117.		
15625	4800		1511	91.9	1539	95.6	1566	99.3	1593	103.	1619	107.	1645	111.	1670	114.	1695	118.	1720	122.		
16276	5000		1520	96.3	1547	100.	1574	104.	1601	108.	1628	112.	1652	115.	1677	119.	1702	123.	1727	127.		
16927	5200	1529	101.	1556	105.	1583	109.	1609	113.	1635	117.	1660	121.	1685	125.	1710	129.	1734	133.			
17578	5400	1539	105.	1566	109.	1592	113.	1618	118.	1643	122.	1669	126.	1693	130.	1718	134.	1742	138.			
18229	5600	1549	110.	1576	114.	1602	118.	1627	123.	1653	127.	1677	131.	1702	135.	1726	139.	1750	144.			
18880	5800	1560	115.	1586	119.	1612	124.	1637	128.	1662	132.	1687	137.	1711	141.	1735	145.	1759	150.			
19531	6000	1571	120.	1597	125.	1623	129.	1648	133.	1672	138.	1697	142.	1721	147.	1744	151.	1768	156.			
20182	6200	1583	126.	1608	130.	1634	135.	1658	139.	1683	144.	1707	148.	1731	153.	1754	157.	1777	162.			
20833	6400	1595	131.	1620	136.	1645	140.	1670	145.	1694	149.	1718	154.	1741	159.	1764	163.	1787	168.			
21484	6600	1608	137.	1633	141.	1657	146.	1681	151.	1705	156.	1729	160.	1752	165.	1775	170.	1798	175.			
22135	6800	1621	143.	1645	147.	1669	152.	1693	157.	1717	162.	1740	167.	1763	172.	1786	176.	1809	181.			
22786	7000	1634	149.	1658	154.	1682	159.	1706	163.	1729	168.	1752	173.	1775	178.	1798	181.	1820	186.			
23437	7200	1648	155.	1672	160.	1695	165.	1719	170.	1742	175.	1765	180.	1787	185.	1809	190.	1831	195.			
24088	7400	1662	162.	1685	167.	1709	172.	1732	177.	1755	182.	1777	187.	1800	192.	1822	197.	1843	203.			
24739	7600	1676	168.	1700	174.	1723	179.	1746	184.	1768	189.	1790	194.	1812	200.	1834	205.	1856	210.			
25390	7800	1691	175.	1714	181.	1737	186.	1760	191.	1782	197.	1804	202.	1826	207.	1847	213.	1868	216.			
26041	8000	1706	183.	1729	188.	1752	193.	1774	199.	1796	204.	1818	210.	1839	215.	1860	220.	1881	226.			

Fuente: Industrial fans, **Bulletin FI-115A**. Pág. 13

De acuerdo con la tabla anterior, para una capacidad de 12.27 metros cúbicos por segundo (26,041 CFM) y una presión estática de 6,978.62 Pa (28 plg de agua) el ventilador debe desarrollar 210 BHP a 1818 RPM. Dicha tabla es para un ventilador No. 60 de una rueda tipo HW (figura 1 pagina 13) de una entrada.

3.4 Motor eléctrico

Se requiere un motor eléctrico capaz de funcionar 24 horas diarias 365 días al año para ser instalado en un ambiente con mucha suciedad, humedad y polvo. Las condiciones anteriores hacen necesario escoger un motor eléctrico horizontal para servicio severo con tipo de carcasa TEFC (totally enclosed fan cooled). Las siglas TEFC significan un motor eléctrico con una carcasa totalmente cerrada enfriada por ventilador.

Se necesita un motor eléctrico que satisfaga las necesidades de potencia (210 BHP) y revoluciones (1818 RPM) del ventilador. Se requiere seleccionar un motor cuyas prestaciones sean mayores a las solicitadas por el ventilador sin sobredimensionar demasiado el sistema.

De acuerdo con la tabla VI, el motor eléctrico que satisface dichas exigencias es un motor trifásico, TEFC, con una potencia de 250 HP a 3,600 RPM, con una frecuencia de 60 Hz y 2,300 voltios.

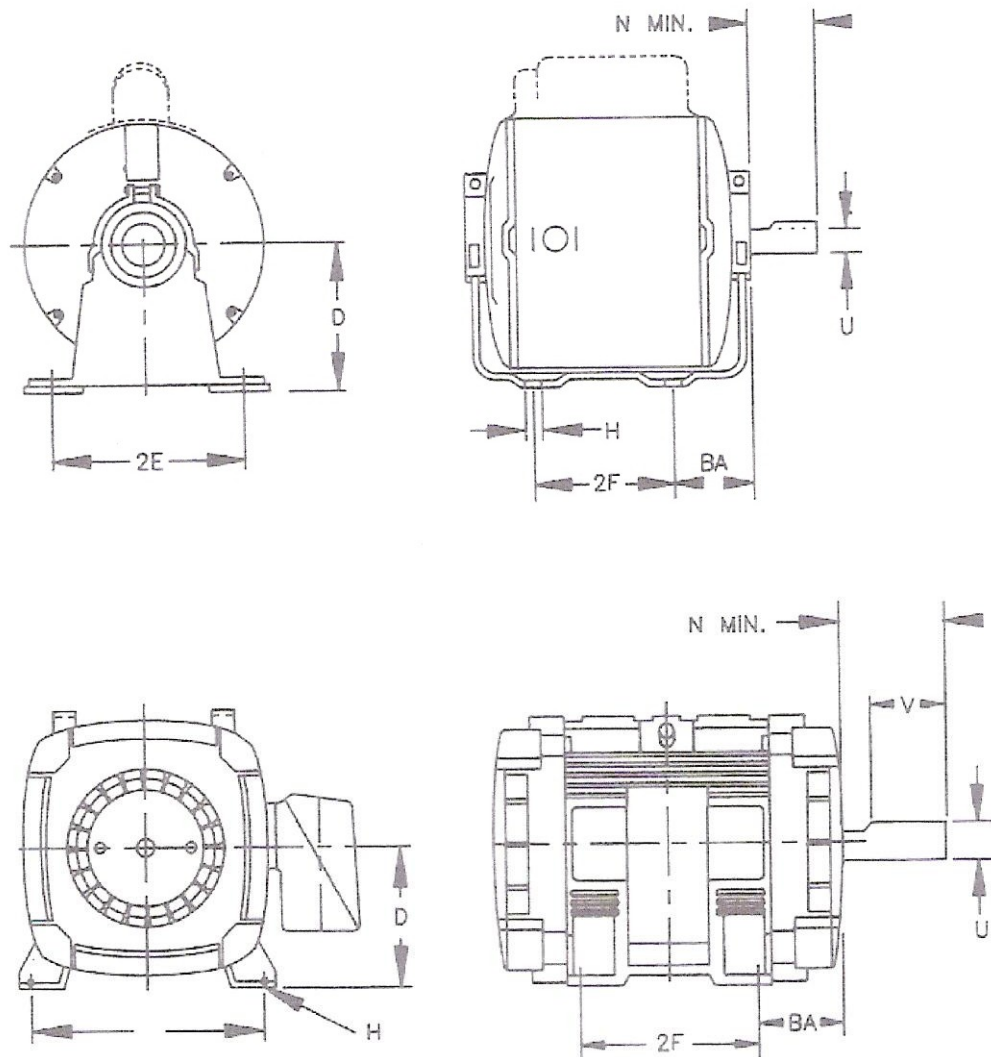
El tamaño del motor lo especifica el fabricante. De acuerdo con la tabla VI, la NEMA especifica el tamaño del motor como un marco 449TS. La figura 13 y la tabla VII muestran las dimensiones del motor.

Tabla VI. Potencia y voltaje para motores trifásicos con carcasa totalmente cerrada enfriado con ventilador.

HP	RPM	Volts	NEMA Frame	SF	Brgs.	Encl.	Prot.	Base
<i>Weather Protected / Enclosure</i>								
300	1800	2300/4000	509L	1.15	Ball	WP-I	RTD	Ftd
300	1200	2300/4000	5011L	1.15	Ball	WP-I	RTD	Ftd
300	900	2300/4000	5011L	1.15	Ball	WP-I	RTD	Ftd
350	3600	2300/4000	509LS	1.15	Ball	WP-I	RTD	Ftd
400	1200	2300/4000	5011L	1.15	Ball	WP-I	RTD	Ftd
500	3600	2300/4000	509LS	1.15	Ball	WP-I	RTD	Ftd
500	1800	2300/4000	509LL	1.15	Ball	WP-I	RTD	Ftd
700	3600	2300/4160	5011LSZ	1.15	Ball	WP-I	RTD	Ftd
700	1800	2300/4000	5011LL	1.15	Ball	WP-I	RTD	Ftd
<i>Totally Enclosed Fan Cooled - Severe Duty</i>								
• 150	1800	2300	445T	1.00	Ball	TEFC	None	Ftd
• 200	900	2300/4000	5011L	1.15	Ball	TEFC	RTD	Ftd
250	3600	2300	449TS	1.00	Ball	TEFC	None	Ftd
250	1800	2300	449T	1.00	Ball	TEFC	None	Ftd
• 250	1800	2300/4000	5011LL	1.15	Ball	TEFC	RTD	Ftd
• 300	3600	2300/4000	5011LS	1.15	Ball	TEFC	RTD	Ftd
300	1800	2300	449T	1.00	Ball	TEFC	None	Ftd
• 300	1800	2300/4000	5011LL	1.15	Ball	TEFC	RTD	Ftd
• 300	1200	2300/4000	5011L	1.15	Ball	TEFC	RTD	Ftd
• 400	3600	2300/4160	5011LS	1.15	Ball	TEFC	None	Ftd
• 400	1800	2300/4000	5011L	1.15	Ball	TEFC	RTD	Ftd

Fuente: GE Motors. **Stock-motor-catalog**. Pág. 2.35

Figura 13. Dimensiones del motor eléctrico con marco 449TS según NEMA



Fuente: GE Motors, **Stock, motor, catalog**. Pág. 9.05

Tabla VII. Dimensiones del motor en centímetros

D	2E	2F	BA	H	N. MIN	U	V. MIN
27.94	45.72	63.50	19.05	2.06	12.07	6.05	11.43

4. MONTAJE

4.1 Cimentación y anclaje

La cimentación es la parte de una estructura utilizada para apoyar la maquinaria en su emplazamiento y transmitir al suelo la totalidad de las fuerzas originadas por la maquinaria o equipo. En general, la cimentación pueden ser directa o indirecta dependiendo del peso de la maquinaria y/o equipo, de las fuerzas desarrolladas por estos, y de la profundidad a la que se encuentre el suelo resistente.

El cimientado más comúnmente usado es el de concreto con una proporción adecuada con relación al tamaño de la maquinaria, nivelado y asegurado, para resistir el movimiento continuo de la maquinaria. Los principales factores que afectan el cimientado son:

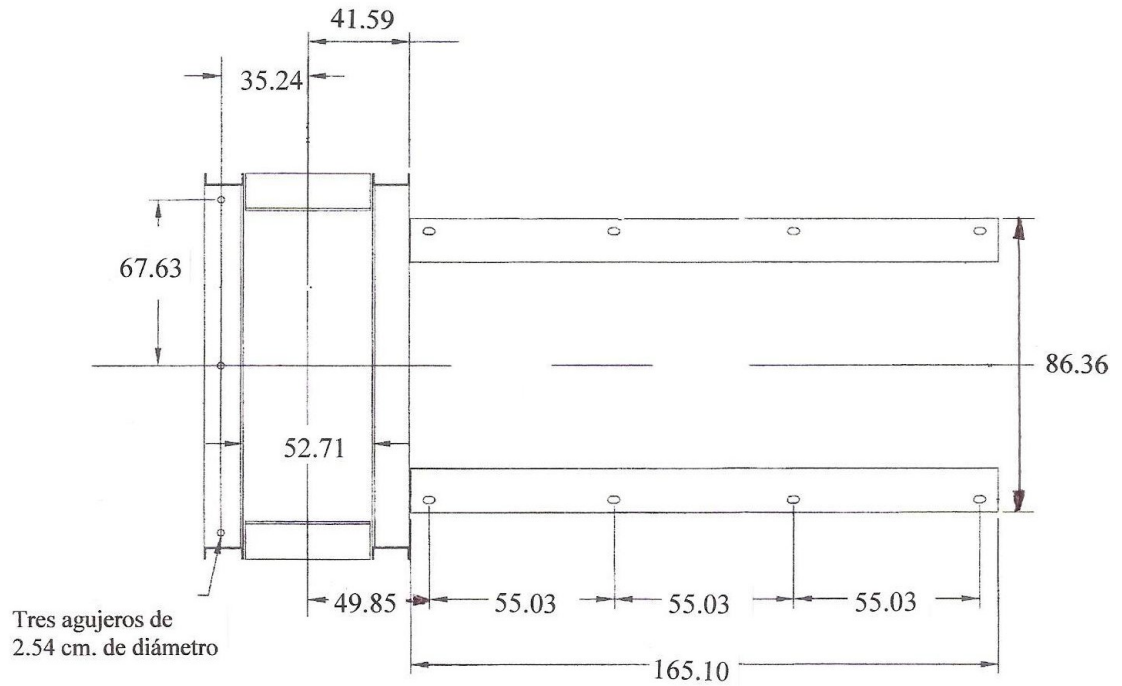
- a.) El soporte total de la maquinaria (motor eléctrico y ventilador).
- b.) Mantener la alineación entre el motor y el ventilador.
- c.) Aislar las instalaciones próximas de las vibraciones producidas.

Sin embargo para los requerimientos específicos en el presente trabajo la base para el motor es una estructura de acero en forma de trapecio proporcionada por el fabricante junto con el ventilador. Sobre el suelo de la planta se esparce una fina capa de un mortero expansivo (Sikagraut), el peso de la base junto con el del motor y el ventilador eliminan por los lados el exceso del mortero expansivo lográndose un buen asiento de la base. La base es fijada al piso por medio de 8 pernos de 2.54 cm de diámetro los cuales deben tener una penetración en el suelo de por lo menos 15.24 cm.

Después de colocar la base en su lugar, y antes de fijarla, deben utilizarse los instrumentos que sean necesarios para nivelarla. Para ello puede utilizarse un nivel de burbuja ordinario, comprobando en dos direcciones perpendiculares, a fin de asegurarse que las patas del motor estarán en el mismo plano y que la base no se combará al apretar los pernos en ella. El motor se coloca sobre la base, se instalan las tuercas y se aprietan con una torsión menor de la especificada; el apriete señalado debe aplicarse después de alinear. En las normas NEMA (siglas en ingles para asociación nacional de fabricantes eléctricos) se indica las dimensiones para el montaje con patas.

Es necesario comprobar la alineación después de terminar el montaje. La figura 14 muestra las dimensiones necesarias de la base para la instalación del motor eléctrico y el ventilador.

Figura 14. Dimensiones de la base para el montaje del equipo



La figura 15 muestra en detalle una vista lateral del montaje del equipo en su respectiva base y la tabla VIII describe los diferentes elementos en el montaje.

Figura 15. Vista lateral del montaje

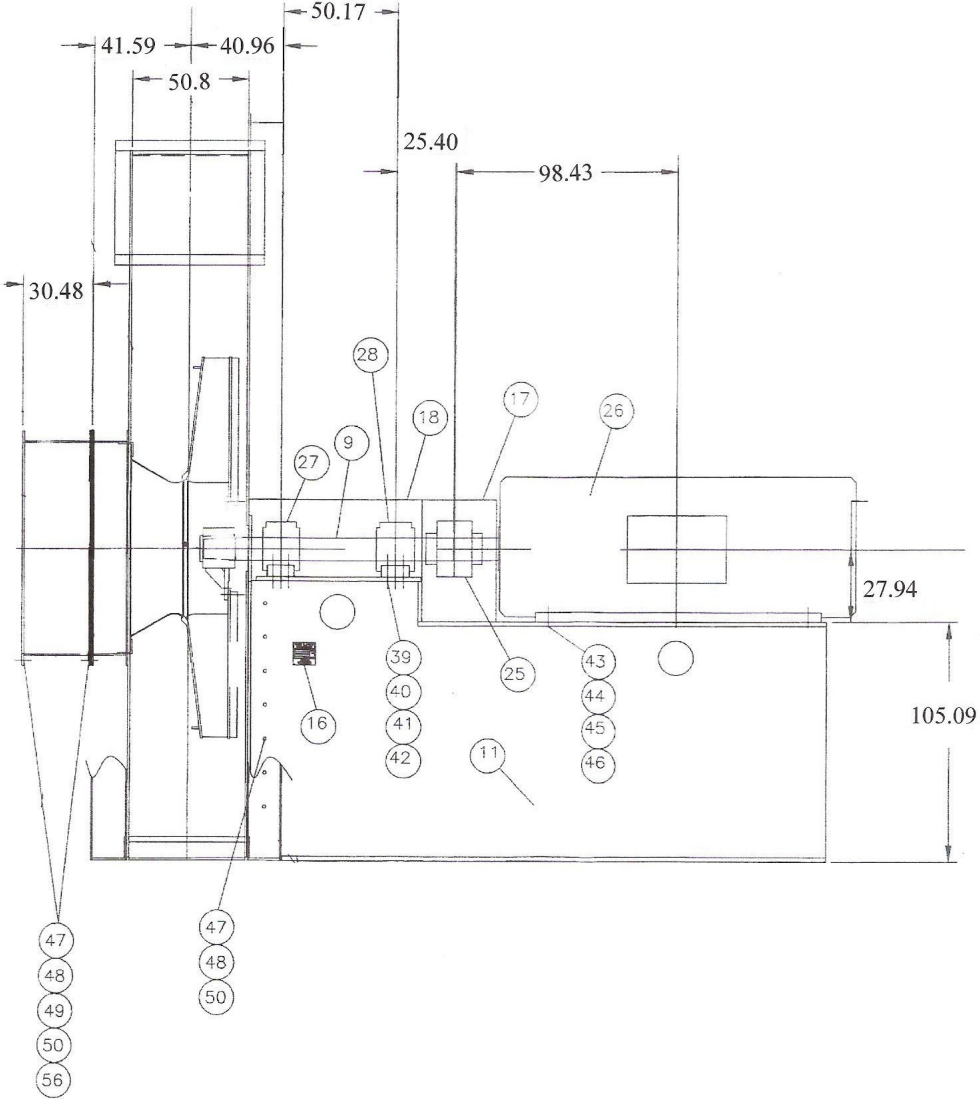


Tabla VIII. Elementos del montaje

9	Eje	43	Tornillo de cabeza hexagonal
11	Base	44	Arandela plana
16	Placa de identificación	45	Tuerca hexagonal
17	Guarda acople	46	Arandela de seguridad
18	Guarda eje	47	Tornillo hexagonal
25	Acople	48	Arandela plana
26	Motor	49	Arandela plana
27	Rodamiento de rodillos	50	Arandela de seguridad
28	Rodamiento de bolas	56	Junta
39	Tornillo de cabeza hexagonal		
40	Arandela plana		
41	Tuerca hexagonal		
42	Arandela de seguridad		

4.2 Alineación del eje motriz

La correcta alineación del eje motriz reduce los riesgos de falla o fractura de los diferentes componentes de las maquinas y/o equipos. Los principales problemas derivados de una defectuosa alineación son:

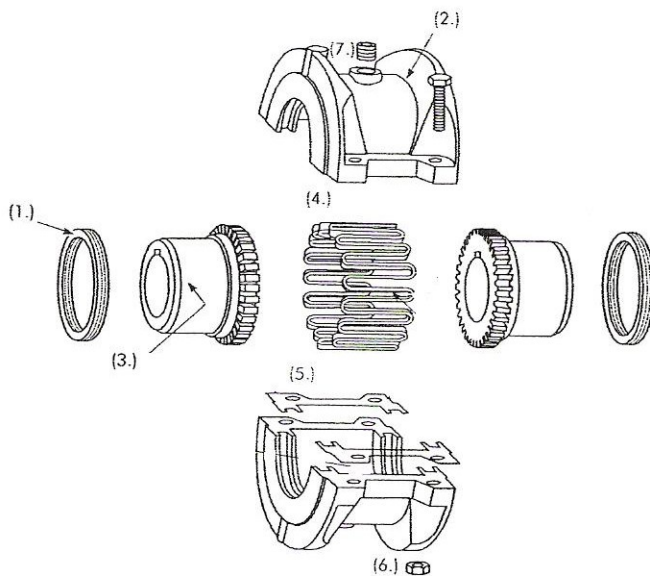
- 1.) Pérdidas de producción por el paro no programado de maquinaria
- 2.) Incremento de las vibraciones
- 3.) Mayor consumo de energía
- 4.) Falla en los rodamiento
- 5.) Rotura del eje
- 6.) Problemas en acoplamientos

De lo anterior se deriva la importancia de una correcta alineación. Los puntos a tomar en cuenta son la alineación paralela, la angular y la pata coja.

Los equipos de alineación láser permiten que un técnico con un entrenamiento relativamente sencillo, tenga la capacidad de alinear correctamente un eje.

La alineación se puede llevar a cabo entre la parte del eje que sale del motor eléctrico y la parte del eje que sale de la turbina, o en el acople. En el presente caso la alineación debe hacerse en el acople (figura 15 numeral 25), ya que el ventilador y el eje de la turbina montado sobre los rodamientos de soporte (figura 15 numerales 9, 27, y 28) vienen instalados de fabrica sobre la base. La figura 16 muestra en detalle el tipo de acople que se debe utilizar.

Figura 16. Detalle del acople para el eje



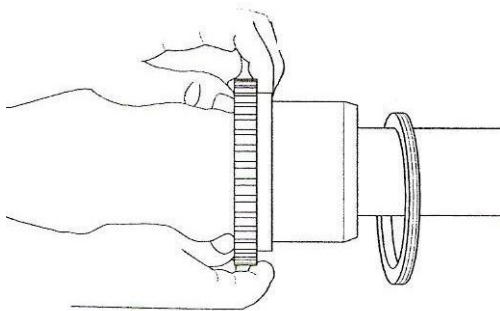
Fuente: Instructivo de la empresa FALK

Las partes que conforman este acople son:

1. Sello
2. Cubierta
3. Cubo de acople (especificar el tamaño de la claveta)
4. Parrilla
5. Empaque
6. Tuerca o sujetador
7. Orificio para lubricación

Los cubos de acople deben ser calentados a una temperatura de 135 centígrados antes de ser montados sobre los ejes impulsor e impulsado. Se limpian todas las partes metálicas con un solvente no flamable y se aplica una capa ligera de grasa a los sellos. Primero se montan los sellos sobre los ejes seguidamente se montan los cubos sobre los ejes como se muestra en la figura 17.

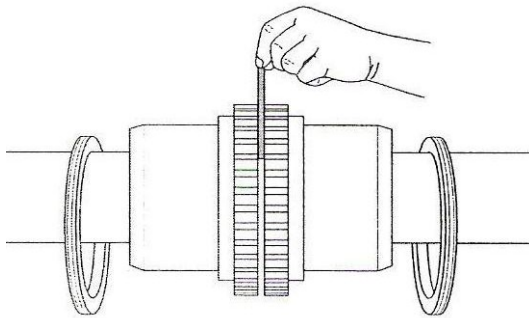
Figura 17. Montaje de los sellos y los cubos.



Fuente: Instructivo de la empresa FALK

Después de montar los cubos de acoplamiento colocar los mecanismos impulsor e impulsado de modo que la distancia entre las puntas de sus ejes sea igual a la separación del acoplamiento. Alinear los ejes colocando un bloque espaciador cuyo espesor sea igual a la separación requerida entre las caras de los cubos, como se ilustra en la figura 18, y colocando otros en puntos separados 90° entre si alrededor del cubo.

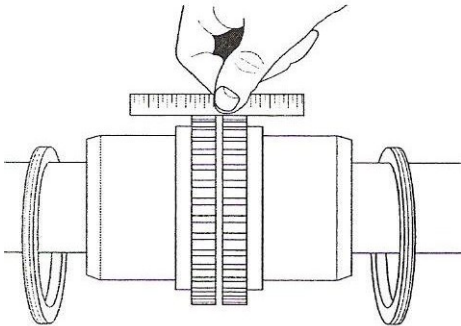
Figura 18. Alineación angular



Fuente: Instructivo de la empresa FALK

Para la alineación paralela, colocar una regla que repose a 90° sobre los ejes impulsor e impulsado y repetir dicha medición a 90° entre si, como se muestra en la figura 19.

Figura 19. Alineación paralela.

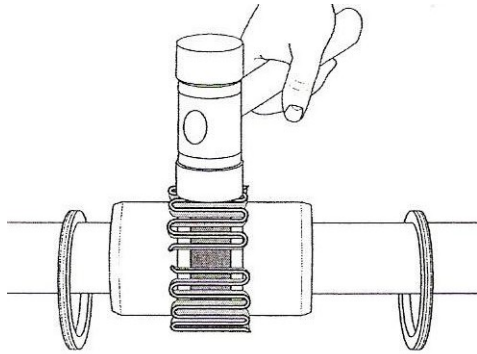


Fuente: Instructivo de la empresa FALK

Después de las mediciones tanto paralela como angular, ajustar los pernos de las patas del motor y repetir las medidas. De ser necesario se puede corregir la alineación por medio de tornillos colocados en las patas del ventilador que lo desplazan horizontalmente o por medio de galgas metálicas colocados en las patas de fijación para corregir desviaciones angulares.

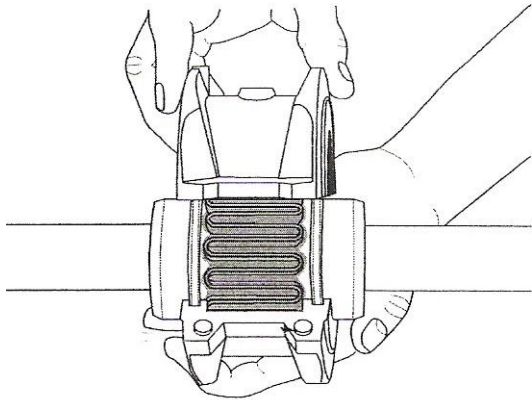
Para terminar con el montaje del acople, se coloca la rejilla ajustándola con un martillo (figura 20) se coloca grasa, se monta la cubierta y se ajustan los pernos (figura 21).

Figura 20. Colocación de la rejilla



Fuente: Instructivo de la empresa FALK

Figura 21. Colocación de la cubierta



Fuente: Instructivo de la empresa FALK

Por último y de acuerdo con las especificaciones del fabricante, la tolerancia máxima permitida para la alineación paralela es de 0.25 mm, y para la angular es 0.20 mm.

5. MANTENIMIENTO

El mantenimiento en todas sus modalidades representa una de las principales actividades en la profesión de la ingeniería. Una correcta planificación y la adecuada implementación de los diferentes tipos de mantenimiento pueden evitar daños personales y/o averías graves en la maquinaria o equipo, lo cual puede provocar significativas pérdidas en tiempo y dinero por el paro no programado en la producción. Por lo anterior se hace necesario, en el presente trabajo, dar una guía práctica para el correcto mantenimiento del equipo que se está estudiando.

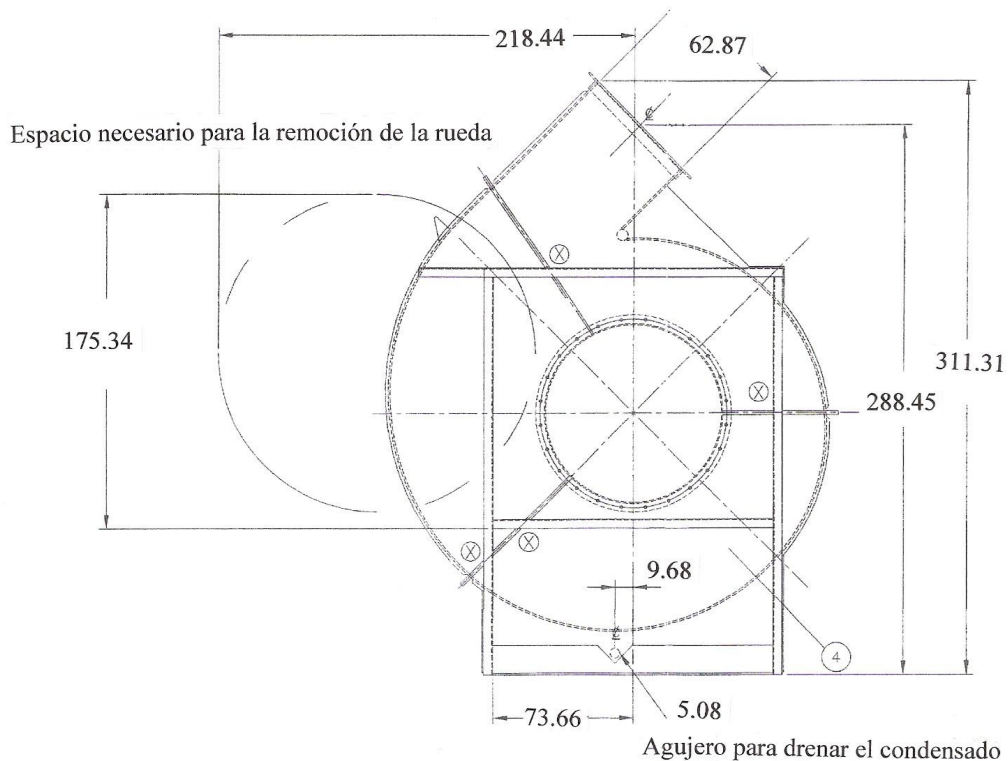
5.1 De la carcasa y rueda

Todas las superficies son preparadas con una mezcla de vapor y químicos, con la finalidad de obtener una máxima adherencia de la pintura. Cuando las superficies están completamente limpias se aplica un esmalte o pintura como protección anticorrosiva. No obstante, las condiciones ambientales en las cuales se instalan los equipos hacen necesario una limpieza periódica.

En el presente caso, el equipo estará instalado en un ambiente muy sucio y húmedo, lo cual provocará la formación de pasta tanto en la carcasa como en la turbina o rueda. Por lo anterior se hace necesaria una limpieza general de la carcasa y la turbina por lo menos cada 6 meses. Para lo anterior se hace necesario un paro en el ventilador (y por consiguiente en el horno), para su apertura y desmontaje de la rueda o turbina de ser necesario.

Se necesita un espacio libre mínimo para desmontar la rueda, si esto fuera necesario. Dicho espacio mínimo se muestra en la figura 22.

Figura 22. Espacio necesario mínimo para el desmontaje de la rueda (en centímetros)



El agujero mostrado en la figura 22 sirve para drenar el condensado y así minimizar la corrosión. La limpieza tanto de la carcasa como de la rueda o turbina se efectúa por medio de químicos no corrosivos y agua a presión.

Cuando las incrustaciones no son muy severas se puede utilizar vapor a alta presión.

5.2 Del *damper*

Los *dampers* son una parte importante del sistema ya que por medio de ellos, los técnicos regulan de forma remota la cantidad de aire necesario en un determinado momento de la producción. El *damper* se instalara en la aspiración del ventilador por medio de 24 pernos con un diámetro de 1.59 cm.

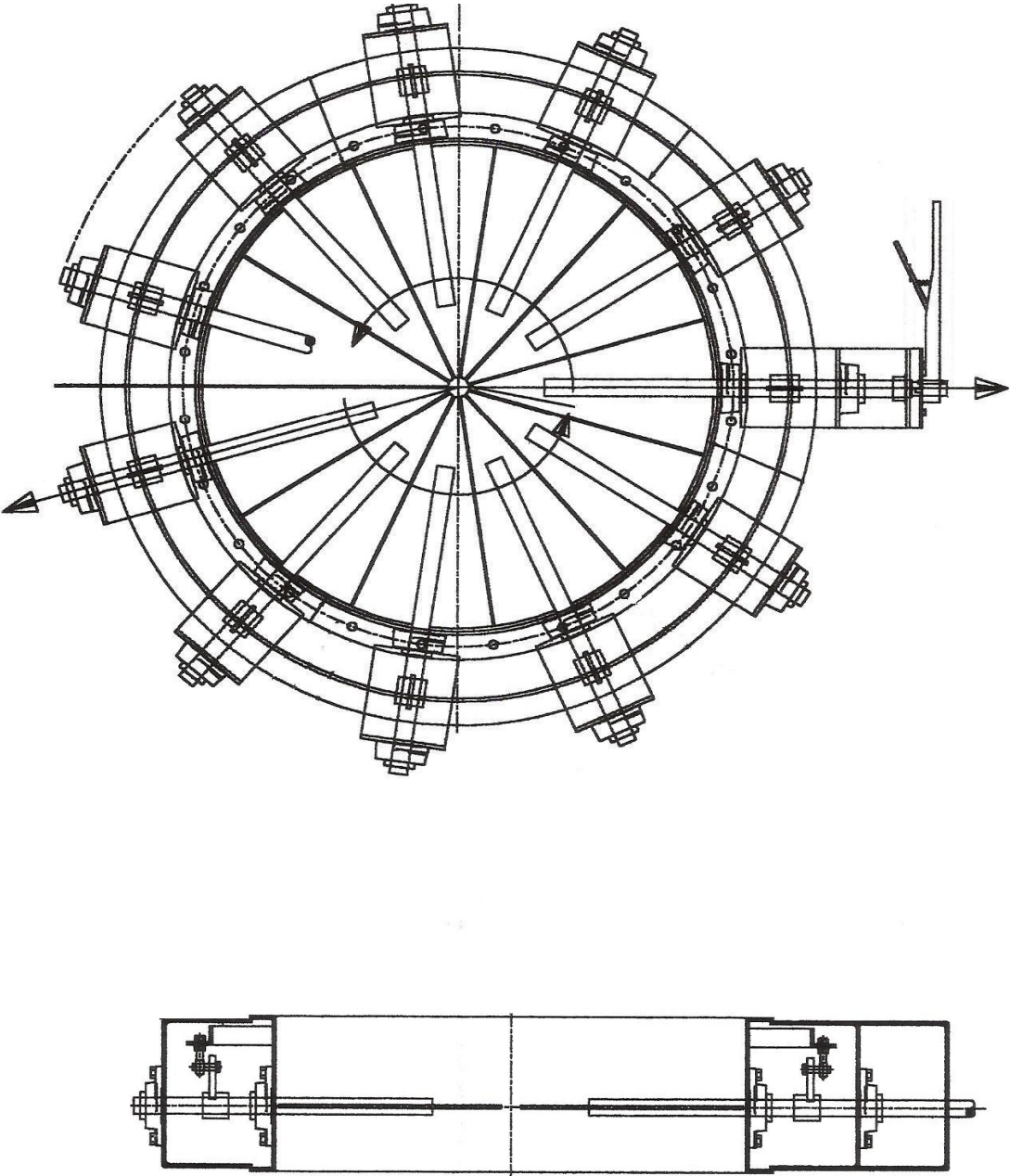
El periodo de limpieza de los *dampers* y lubricación de sus rodamientos de bolas, dependen de la velocidad del aire y de las condiciones ambientales. La correcta lubricación de los rodamientos protege los elementos rodantes y las pistas de los rodamientos de la corrosión, ayuda al sellado contra la contaminación y a la disipación del calor.

Todos los rodamientos son enviados prelubricados de fabrica generalmente con una grasa en base a litio cuyo rango de temperatura de operación es -34 °C a 93 °C. Para temperaturas de operación de 93 °C utilizar un periodo de lubricación de 6 meses a 1 año. Para temperaturas sobre los 93 °C lubricar mensualmente o cada 2 meses.

Para mejores resultados los rodamientos pueden ser lubricados cada cierto tiempo mientras están en operación. La grasa debe ser bombeada únicamente en un tercio del área del rodamiento. Lubricar en exceso un rodamiento puede generar que los sellos fallen.

En la figura 23 se muestra en detalle el *damper* que se necesita para satisfacer las condiciones necesarias en el ventilador.

Figura 23. Detalle del *damper*



5.3 De los rodamientos

Los rodamientos que soportan el eje de la turbina son de rodillos (figura 15 numeral 27) y de bolas (figura 15 numeral 28). Dichos rodamientos necesitan una periódica medición de su temperatura para comprobar que la grasa este cumpliendo con su función de disipar el calor y por lo tanto la lubricación sea la correcta.

Los rodamientos que soportan el eje de la turbina vienen lubricados de fábrica y se recomienda desmontarlos y reemplazarlos cada año. Sin embargo se puede tener un periodo de limpieza y lubricación de 3 a 6 meses y prolongar así la vida útil del rodamiento antes de su reemplazo, toda vez la producción permita esos paros periódicos del ventilador.

5.4 Del motor eléctrico

Se recomienda una inspección general a intervalos regulares dependiendo de las condiciones del servicio. Además de las observaciones diarias de las condiciones generales del motor, es recomendable una inspección periódica de los siguientes de aspectos tales como limpieza general, aislamiento y embobinado, lubricación y rodamientos.

Debido a que el motor eléctrico es totalmente cerrado enfriado por ventilador, el tiempo requerido para desarmar el motor y darle mantenimiento puede ser de 6 meses a 1 año dependiendo de las condiciones ambientales.

Cuando se llega a la fecha de mantenimiento interno del motor, puede utilizarse una aspiradora y un compresor. El compresor puede ser usado para remover suciedad y polvo de los conductos de aire. La aspiradora debe utilizarse para remover suciedad y partículas de polvo del embobinado. Se debe tener especial cuidado de que el compresor utilizado para la limpieza no supere los 206,842 Pa. También se puede realizar la limpieza con vapor y detergente o con solventes. Si se utiliza el método de vapor y detergente, el vapor debe estar a un máximo de 206,842 Pa y 90 °C. Después de repetidas limpiezas del embobinado con vapor y detergente puede que sea necesario un reemplazo de este.

La lubricación de los rodamientos y de los cojinetes antifricción depende del tipo de grasa, la velocidad y severidad de operación. Por lo anterior no es posible determinar con exactitud cuando debe agregarse nueva grasa. Sin embargo, tomando como referencia los buenos resultados obtenidos en la práctica en diferentes condiciones se recomienda un reemplazo de grasa cada 6 meses para rodamientos con tipo de servicio severo trabajando 365 días al año, 24 horas al día a una potencia de 200 a 350 HP.

La tabla IX muestra una síntesis del mantenimiento requerido por el equipo.

Tabla IX. Síntesis de mantenimiento

ELEMENTO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Carcasa	Limpieza general	Cada 6 meses
Rueda o turbina	Limpieza general	Cada 6 meses
<i>Damper</i>	Limpieza general y lubricación de los rodamientos	De 6 meses a 1 año para temperaturas de operación hasta de 93 grados centígrados
<i>Damper</i>	Limpieza general y lubricación de los rodamientos	Cada 2 meses para temperaturas mayores de 93 grados centígrados,
Rodamientos	Limpieza y lubricación	De 3 a 6 meses
Motor eléctrico	Limpieza y lubricación general	De 6 meses a 1 año dependiendo de las condiciones ambientales

Es importante tener un plan de visitas e inspecciones técnicas periódicas con el fin de verificar el correcto funcionamiento del equipo y hacer posibles cambios en la frecuencia de las actividades.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico tiene como finalidad dar una idea clara del precio de un equipo nuevo (ventilador y motor eléctrico), así como del costo de montaje del mismo.

6.1 Valor real del equipo

El valor real del equipo incluye el costo del flete terrestre, marítimo, gasto de embalaje, gasto de papelería de exportación e importación y costo del seguro. El costo del equipo se investigo en una empresa de Buffalo, New York, dedicada a la fabricación de ventiladores. Los gastos de exportación se obtuvieron de una empresa de exportación de maquinaria y equipo con sede en Miami, FL.

El seguro terrestre cubre el traslado de Buffalo, NY, a Miami, FL. La empresa naviera se encarga del transporte marítimo y terrestre del equipo hasta la planta en Guatemala, incluyendo el seguro. La tabla X muestra un desglose de los diferentes gastos, los precios están en dólares americanos.

Tabla X. Desglose del costo del equipo en dólares americanos.

Artículo	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	1	Ventilador con una descarga de 12.27 m ³ /s, 6,978.62 Pa de presión estática en la descarga, 20 °C, elevación de 1,524 m, 1,818 RPM, 210 BHP, descarga en ángulo de 45°, arreglo No. 8, rotación contraria a las manecillas del reloj, <i>dampers</i> , cojinetes antifricción SKF, acople de rejilla No. 1100, cubierta para el acople y el eje. Incluye un silenciador modelo 1320 tipo L. Motor eléctrico TEFC, 250 HP, 3,600 RPM, 3/60/2,300V	71,273.16	71,273.16
2	1	Base para rodamientos eje de la turbina	370.74	370.74
		Flete terrestre de Buffalo, NY, a Miami, FL	4,800.00	4,800.00
		Gastos de manejo, despacho, documentación y equipo especial	3,200.00	3,200.00
		Embalaje o empaque de exportación	3,100.00	3,100.00
		Seguro terrestre de la fabrica a Miami, FL. (por USD \$ 90,000.00)	675.00	675.00
		Flete marítimo a Guatemala	3,700.00	3,700.00
		Total costo y flete Guatemala, ciudad Guatemala	87,118.90	87,118.90

El precio total de USD \$ 87,118.90 es el costo del equipo puesto en la fábrica en Guatemala.

6.2 Costo de la instalación

Datos obtenidos de la empresa SINMA, la cual se dedica a servicios industriales de montaje y mantenimiento, indican que se requieren por lo menos 7 personas (4 ayudantes, 2 técnicos mecánicos y 1 ingeniero), para la instalación del equipo. El tiempo estimado para completar el montaje es de 8 días trabajando un promedio de 10 horas diarias. En la tabla XI se indican los salarios mensuales de cada una de las personas necesarias para el montaje.

Tabla XI. Detalle de salarios.

Puesto	Salario mensual	Asignación anual	Salario diario	Salario por hora
Ayudante	Q. 4,200.00	Q. 50,400.00	Q. 138.08	Q. 17.26
Técnico	Q. 7,000.00	Q. 84,000.00	Q. 230.00	Q. 28.77
Ingeniero	Q. 10,000.00	Q. 120,000.00	Q. 328.77	Q. 41.10

Por lo tanto el costo de instalación será:

Cuatro ayudantes:	$17.26 \times 80 \times 4 =$	Q. 5,523.20
Dos técnicos:	$28.77 \times 80 \times 2 =$	Q. 4,603.20
Ingeniero:	$41.10 \times 80 \times 1 =$	Q. 3,288.00
	Total:	Q. 13,414.40

El costo de instalación del equipo será de Q. 13,414.40 si se utiliza personal presupuestado en la empresa. Si embargo, para el presente caso, la empresa en la cual se instalara el equipo tiene como política administrativa, la contratación de otras empresas para este tipo de operaciones. Consultando a la empresa SINMA nos indican que el costo de instalación de dicho equipo sería de Q. 18,000.00.

CONCLUSIONES

1. Para enfriar, adecuadamente, los moldes de los envases de vidrio se requiere de un ventilador que maneje grandes caudales de aire, lo cual se logra con ventiladores centrífugos.
2. El ventilador debe tener una configuración de descarga en ángulo a 45°, debido a que se instalará a varios metros por debajo de la posición de los moldes que debe enfriar.
3. El motor eléctrico debe ser completamente cerrado, ya que, el lugar de instalación es muy húmedo y con muchas partículas en suspensión.
4. Antes de colocar el conjunto de ventilador-motor sobre el piso de la planta debe esparcirse un mortero expansivo para garantizar una adecuada nivelación del equipo.
5. Debido al ambiente húmedo y con partículas en suspensión en el que se instalará el equipo, es necesario planificar, adecuadamente, un programa de inspecciones técnicas para establecer un plan de mantenimiento efectivo acorde a las necesidades de funcionamiento de dicho equipo.

RECOMENDACIONES

1. Diseñar un plan de inspección y mantenimiento de acuerdo a los parámetros especificados en el capítulo 5, con el fin de mantener el equipo en óptimas condiciones y evitar paros innecesarios de la producción.
2. Montar el motor eléctrico de último para facilitar el manejo del ventilador y su respectiva base. Esto se hace necesario, pues, el peso del motor sobrepasa los 2,200 kilogramos.
3. Colocar un silenciador en la entrada de aire del ventilador para reducir el ruido producido por este, ya que, puede resultar molesto e incluso nocivo para la salud de los trabajadores.
4. Solicitar que los rodamientos que soportaran el eje sean lubricados con grasa y no con aceite. Por experiencia práctica, se ha determinado que al estar el eje en movimiento, el nivel de aceite se torna poco visible lo que hace dudar de la correcta lubricación hidrodinámica.
5. La fábrica en la cual se instalará el ventilador, debe contar con las herramientas necesarias para levantar y trasladar el equipo desde los patios donde será entregado hasta su lugar de montaje. Se debe tener muy presente que el peso total del equipo es, aproximadamente, 6,800 kilogramos.

6. Cuando se decida la compra del equipo, tomar muy en cuenta que el tiempo promedio de entrega es de 12 a 14 semanas después que se aprueba la cotización.

REFERENCIAS

1. Flinn, Richard A. y otros. **Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones.** 3ª Edición, México: McGrawHill, 1,994. pp. 290-300.
2. Jorge Rentz. Gerente General de Sinma. 2,006. Comunicación personal.
3. Edgar G. Pita. **Acondicionamiento de aire.** (2ª Edición; México: Editorial Continental, 2002) pp.279-281.
4. Ranald V. Giles. y otros. Mecanica de los fluidos e hidraulica. (3ª Edicion; España: Editorial McGraw-HILL, 1996) pp.121-124
5. HowdenBuffalo. **Centrifugal fans** (julio 2000) pp.3-5
6. SKF. **Catálogo general.** pp.27-35
7. FALK. **Instalación y mantenimiento.** Instructivo.
8. MADER DAMPER. **Manual para instalación y mantenimiento de dampers.**
9. GE control industrial de sistemas. **Motores horizontales de inducción.** Instructivo.
10. Frederick Stanley Pearse. President CEO de F.S. Pearse and Associates, INC. Julio de 2006. Comunicación personal.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pita, Edgard G. **Acondicionamiento de Aire.** 2ª Edición, México: Compañía Editorial Continental, 2002. pp. 548.
2. Giles, Ranald V. y otros. **Mecánica de los Fluidos e Hidráulica.** 3ª Edición, España: McGRAWHILL, 1996. pp. 420.
3. Flinn, Richard A. y otros. **Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones.** 3ª Edición, México: McGRAWHILL, 1994. pp. 742

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.