



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**DISEÑO, APLICACIÓN PRÁCTICA, COSTOS Y MANTENIMIENTO
DE UN EXTRACTOR DE AIRE.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A:

OSVALDO OCAMPO VEGA

**ASESORES: ING. ALEJANDRO MARTÍNEZ MONCADA
ING. JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ GUTIÉRREZ**

DEDICATORIA.

Quiero agradecer a Dios, porque me permitió terminar la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, y con esto alcanzar una de mis metas que me he propuesto en la vida.

Igualmente quiero agradecer a mi madre Rosa María Vega Mendoza, a quien dedico este trabajo, y que gracias a su apoyo que me brindó, a su amor, comprensión y paciencia he logrado tener una educación.

De la misma forma quiero agradecer al resto de mi familia, a las personas que quiero y estimo en general.

También agradezco a todos mis compañeros de la generación 2002-2006, que de una u otra forma influyeron en esta etapa de mi vida, a todos los profesores de la carrera de los cuales siempre obtuve atención y a todas aquellas personas que siempre creyeron en mi.

AGRADECIMIENTOS.

A la máxima casa de estudios: La Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de cumplir mi sueño y me enorgullece pertenecer a esta gran institución.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, porque en este lugar me forme profesionalmente, pero sobre todo porque ahora soy un hijo egresado de esta institución.

A mis asesores de tesis, Ing. Alejandro Martínez Moncada e Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez y a Pedro Villaverde Mendoza, que por su vocación, su paciencia, sus conocimientos y su dedicación. Porque gracias a sus observaciones y sugerencias este trabajo es una realidad, pero sobre todo porque siempre se agradece a alguien que te tiende la mano y más aún cuando lo hace sin esperar nada a cambio.

A los miembros del jurado: M. en I. José Guadalupe Alfonso Ramos Anastasio, Ing. Alejandro Martínez Moncada, Ing. Bernardo Gabriel Muñoz Martínez, M. En I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez y al Ing. Eusebio Reyes Carranza, por el tiempo dedicado a este trabajo, por sus atinados comentarios y sus valiosas sugerencias.

INDICE.

INTRODUCCIÓN:	3
OBJETIVOS:	4
CAPITULO 1 ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL LUGAR A VENTILAR.	
1.1 VENTILACIÓN.....	6
1.2 MEDIDAS DEL FLUJO DE AIRE.....	8
1.3 UNIDADES DE PRESIÓN.....	8
1.4 CAUDAL, PRESIÓN ESTÁTICA, DINÁMICA Y TOTAL.....	9
1.5 MEDIDAS DE PRESIÓN.....	11
1.6 APARATOS DE MEDIDA.....	11
1.7 TUBO DE PITOT.....	11
1.8 SONDA DE PRESIÓN ESTÁTICA.....	12
1.9 TUBO DE PRANDTL.....	12
1.10 REQUISITOS DE LA VENTILACIÓN.....	13
1.11 VELOCIDADES DE VENTILACIÓN RECOMENDADA.....	15
1.12 EJEMPLO PRÁCTICO.....	16
CAPITULO 2 DISEÑO Y APLICACIÓN PRÁCTICA DEL EXTRACTOR DE AIRE.	
2.1 TURBOMÁQUINAS HIDRÁULICAS.....	18
2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS HIDÁULICAS.....	18
2.3 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.....	21
2.4 ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LAS TURBOMÁQUINAS.....	22
2.5 TRIÁNGULOS DE VELOCIDAD.....	25
2.6 DISEÑO DE UN EXTRACTOR DE AIRE.....	28
2.7 LAS ONCE LEYES DE SEMEJANZA DE LOS VENTILADORES.....	33
2.8 REDISEÑO.....	34
2.9 SISTEMAS DE VENTILACIÓN.....	46
2.10 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN.....	46
2.11 SISTEMA DE INYECCIÓN O IMPULSIÓN.....	47
2.12 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN E IMPULSIÓN.....	48
2.13 VENTILACIÓN NATURAL.....	48
2.14 VENTILACIÓN MECÁNICA.....	49
2.15 VENTILADORES.....	50
2.16 TIPO DE VENTILADORES.....	52
2.17 VENTILADORES AXIALES.....	52

2.18 VENTILADORES CENTRÍFUGOS.....	52
2.19 CLASIFICACIÓN DE LOS VENTILADORES.....	52
2.20 VENTILADORES RADIALES INDUSTRIALES ENTRADA SENCILLA.....	59
2.21 VENTILADORES RADIALES INDUSTRIALES ENTRADA DOBLE.....	60
2.22 POSICIONES DE DESCARGA Y SENTIDO DE GIRO.....	61

CAPITULO 3 COSTOS.

3.1 MATERIALES.....	63
3.2 PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLE.....	65
3.3 ARRANQUE A EQUIPO ENSAMBLADO.....	68

CAPITULO 4 MANTENIMIENTO

4.1 VIBRACIONES MECÁNICAS.....	70
4.2 CAUSAS DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS.....	70
4.3 EL MANTENIMIENTO Y LAS VIBRACIONES.....	70
4.4 DIFERENTES TIPOS DE VIBRACIONES MECÁNICAS.....	71
4.5 VIBRACIÓN DEBIDA A DESBALANCE.....	71
4.6 VIBRACIÓN DEBIDA A FALTA DE ALINEAMIENTO.....	71
4.7 VIBRACIÓN DEBIDA A EXCENRICIDAD.....	72
4.8 VIBRACIÓN DEBIDA A ELEMENTOS RODANTES DEFECTUOSOS.....	73
4.9 VIBRACIÓN DEBIDA A RODAMIENTOS DE CHUMACERAS DEFECTUOSOS.....	74
4.10 VIBRACIÓN DEBIDA A AFLOJAMIENTOS MECÁNICOS.....	74
4.11 AISLAMIENTO DE VIBRACIONES.....	74
4.12 MATERIALES USADOS PARA MONTAJES ANTIVIBRATORIOS.....	75
4.13 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE VIBRACIÓN Y BALANCEO DINAMICO DE VENTILADORES Y MÁQUINAS ROTATORIAS.....	76
4.14 PROCEDIMIENTO DE BALANCEO DINÁMICO EN CAMPO.....	80
APÉNDICE.....	85
BIBLIOGRAFÍA.....	87

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo pretende dar la introducción de manera simple, sencilla, y general sobre el tema de la ventilación; para que el lector tenga una herramienta de conocimiento del tema.

Se mostrarán varios tipos prácticos de ventilación y se dará a conocer los ventiladores en sus distintos ensambles, formas y funcionalidad.

Se analizará y designará un equipo para ventilar un determinado local y se explicará el mantenimiento preventivo y correctivo del equipo.

Se ha dividido en capítulos, cada uno con un propósito específico.

En el capítulo 1 se introducen algunos conceptos como la ventilación, unidades e instrumentos de medición utilizados en ventiladores, así como el estudio de un local a ventilar.

En el capítulo 2 se describe el diseño de un extractor de aire, así como los tipos de ventilación y ventiladores.

En el capítulo 3 nos enfocamos a los costos, mano de obra, tipos de materiales que deberá utilizar el extractor de aire.

Finalmente en el capítulo 4 se analizará el mantenimiento al extractor de aire por medio de un análisis de vibraciones y balanceo dinámico.

Se elaborará el procedimiento para el mantenimiento de dicho equipo.

Por último, se incluye una sección de apéndices y la bibliografía consultada.

De esta manera, al finalizar la lectura de este trabajo, el lector tendrá

- Conocimiento de los tipos de ventilación y ventiladores.
- Una idea general del estudio de un local a ventilar.
- El análisis del mantenimiento a través del estudio de vibraciones y balanceo dinámico.

Para cumplir con estos objetivos se realizó una investigación en diversas publicaciones, incluyendo, libros y manuales, extrayendo la información más relevante y agrupándola en orden lógico y estructurada.

Por último solo me resta agradecer a todas aquellas personas que directa o indirectamente colaboraron para la realización de este trabajo, y me permitieron un poco de su tiempo para aclarar mis dudas y extraer información.

OBJETIVOS.

- Conocer los principios básicos que se deben de realizar en un estudio de un lugar a ser ventilado, entre los que podemos encontrar: laboratorios, naves industriales, granjas, edificios, tintorerías etc. por mencionar algunos.
- Dentro de la aplicación práctica se conocerá el manejo del caudal que utilizará el extractor de aire, para esto se utilizaran las curvas características (presión-caudal), para poder seleccionar el extractor adecuado.
- Una vez ya teniendo el estudio del lugar, y seleccionado el extractor se dará a conocer los costos de dicho diseño entre los que se incluirá el precio del extractor, el motor y su montaje.
- Por último se analizará el mantenimiento del extractor por medio de limpieza, análisis de vibración y si requiere balanceo dinámico.

CAPITULO 1.
ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL LUGAR
A VENTILAR.

CAPITULO 1.

ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL LUGAR A VENTILAR.

1.1 Ventilación: Es cambiar, renovar, extraer el aire interno de un recinto y sustituirlo por aire nuevo del exterior a fin de evitar su enrarecimiento, eliminando el calor, el polvo, el vapor, los olores y cuanto elemento perjudicial o impurezas contenga el aire ambiental encerrado dentro del local. De no llevarse a cabo esta renovación, la respiración de los seres vivos que ocupan el local se haría dificultosa y molesta, siendo un obstáculo para las actividades que se desarrollan dentro del habitáculo.

La ventilación y la temperatura van íntimamente unidas. El confort de un espacio habitado depende lo mismo de su calefacción que de su refrigeración. En tiempo frío, la ventilación debe ir acompañada de una calefacción suficiente para evitar la sensación de frío. A temperaturas altas, la ventilación debe aliviar el calor. La refrigeración debe ser suficiente para reducir el calor del interior de una habitación, a la temperatura existente en la sombra exterior. Debe de existir un movimiento de aire suficiente para disminuir el calor del cuerpo.

La composición en volumen del aire puro es aproximadamente del 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno. Están presentes también porciones de dióxido de carbono, argón, neón y helio. La atmósfera contiene igualmente un porcentaje variable de vapor de agua.

El aire como todos los gases es capaz de reducir su volumen cuando le oprime una fuerza exterior. Igualmente al introducirse en un recipiente se expande repartiéndose por igual en el interior del mismo. También es común en los gases su reducida viscosidad . El enrarecimiento en el aire de las habitaciones ocupadas por un grupo de personas, es principalmente debido a las sustancias orgánicas emanadas por los cuerpos de los ocupantes.

Debe tenerse en cuenta que los olores del cuerpo provienen de sustancias orgánicas en el aire, las cuales se incrementan donde la higiene personal es deficiente.

La ventilación de máquinas o de procesos industriales permite controlar el calor, la toxicidad de los ambientes o la explosividad potencial de los mismos. Para efectuar una ventilación adecuada hay que atender a:

- Determinar la función a realizar (el calor a disipar, los tóxicos a diluir, los sólidos a transportar, etc).
- Calcular la cantidad de aire necesario.

- Establecer el trayecto de circulación de aire.

La renovación de aire fresco para una habitación ocupada debería ser suficiente para eliminar todo posible medio de los olores del cuerpo.

La renovación de aire, requerida para este propósito, variará con el número de ocupantes y de su limpieza e higiene.

La mayor parte de los humos, gases y polvos provienen de las operaciones industriales son perjudiciales para la salud. En general, las concentraciones que pueden ser permitidas en la atmósfera son muy pequeñas.

Es necesario evitar contaminaciones de esta clase evitando que no penetren en lugares habitados. Deben ser eliminadas en la misma fuente de producción.

La capacidad de trabajo y la salud de las personas se ven disminuidas, si su actividad laboral se desenvuelven dentro de ambientes contaminados, bien sea por exceso de calor o por humos, polvo u otros agentes atmosféricos que contaminan a su alrededor, destruyendo la pureza del aire que respira.

Lo primero a considerar es el tipo de actividad que se lleva a término, es muy distinto considerar el interior de las oficinas modernas espaciosas y con poca densidad de ocupación, que el ambiente de un bar, cafeterías y no se diga de una sala de fiestas.

La razón de ventilar los habitáculos humanos es proporcionar el confort necesario para el hombre moderno ya que se estima que permanece en locales cerrados el noventa por ciento de su tiempo.

Diluir el olor corporal, controlar la humedad, el calor, el humo del tabaco, la contaminación que se desprende de muebles, cortinas, suelos, paredes y muchas otras fuentes de contaminación que agraden dentro de los edificios es lo que se pretende.

Como conclusión, decir que la ventilación de edificios industriales o cualquier otro local que este sometido a la contaminación, contribuirá a un mejoramiento del bienestar humano y por ende un buen proyecto de ventilación a la larga es una inversión rentable.

1.2 Medidas del flujo del aire.

Presión: es la fuerza por unidad de superficie, corresponde a la energía por unidad de volumen y puede expresarse como $P = \frac{F}{S} \dots\dots\dots(1.1)$

Donde:

- P: presión.
- F: Fuerza.
- S: Superficie ó área.

Se distinguen tres tipos de presión: la atmosférica o barométrica, relativa o manométrica y absoluta.

1.3 Unidades de presión.

Presión atmosférica normal a nivel de mar, equivale a la presión que ejercen 760 mm c. d. Hg.

Esta presión disminuye con la altitud, al ir subiendo sobre el nivel del mar, la presión disminuye hasta anularse en estratosfera, donde no hay aire.

Las unidades de presión generalmente adoptadas son el $\frac{kg}{cm^2}$, y la atmósfera, siendo sus equivalencias las siguientes.

$$1 \text{ atmósfera} = 1 \frac{kg}{cm^2} = 735 \text{ mm. c. d. Hg.}$$

Presión atmosférica normal = 760 mm c. d. Hg. = 1.033 atmósferas.

Otra unidad de presión para medir presiones, como las de los ventiladores, es el milímetro columna de agua (1 mm c. d. a.) y sus equivalencias son:

- 1 mm c. d. a. = 0.07355 mm c. d. Hg.
- 760 mm c. d. Hg. = 10.334 mm c. d. a.
- 1 atmósfera = 10.000 mm c. d. a.
- 1 bar \approx 10 m c. d. a.

Presión relativa o manométrica: es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica.

Presión absoluta: son las presiones referidas al cero absoluto, esto es:

$$P. \text{ absoluta} = P. \text{ Relativa} + P. \text{ Atmosférica} \dots\dots\dots(1.2)$$

1.4 Caudal, presión estática, dinámica y total.

En el estudio de los ventiladores hay conceptos básicos que caracterizan el movimiento del aire, entre los que encontramos, el caudal, la presión estática, dinámica y total.

- Caudal(Q): es el volumen de aire movido por un ventilador en la unidad de tiempo, generalmente expresado en $\frac{m^3}{h}$ ó $\frac{m^3}{s}$. independientemente de la densidad del aire.
- Presión estática (P_e): es la que se ejerce en todas direcciones dentro de un conducto, en la misma dirección del aire, en dirección contraria y en dirección perpendicular sobre las paredes del mismo. La presión estática puede ser positiva, si es superior a la atmosférica o bien negativa, si está por debajo de ella.
- Presión dinámica (P_d): el aire fluye, naturalmente desde una región de alta presión a otra de más baja. Este movimiento se produce debido a la diferencia de presiones entre estos dos puntos. La velocidad del flujo depende de la resistencia que encuentre la corriente de aire, al igual que cualquier otra cosa que se mueva el aire ejerce una presión contra los obstáculos que encuentra a su paso, proporcional a su velocidad. La presión debida a la velocidad es designada como presión dinámica. La presión dinámica siempre es positiva y se manifiesta únicamente en el sentido de la velocidad.
- Presión total (P_t): es la suma algebraica de la presión dinámica y la estática en un punto. Si el aire se encuentra en reposo, la presión total será igual a la presión estática.

$$P_t = P_e + P_d \dots \dots \dots (1.3)$$

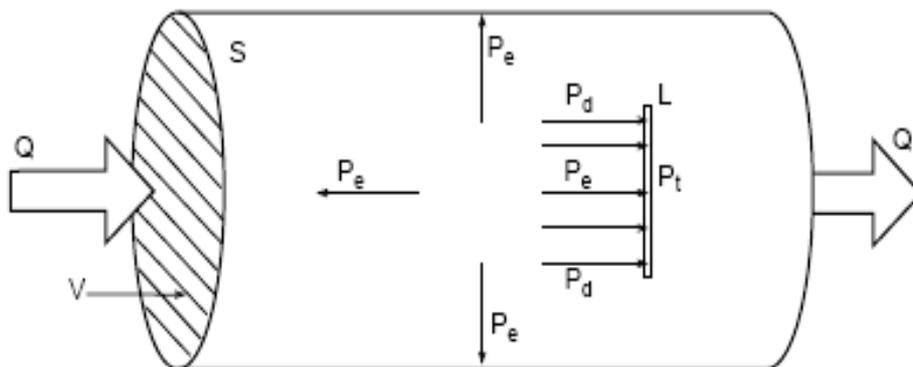


Figura 1.1 movimiento de aire en un conducto.

En los conductos de impulsión la presión estática (P_e) y presión total (P_t) son positivas, figura 1.2.

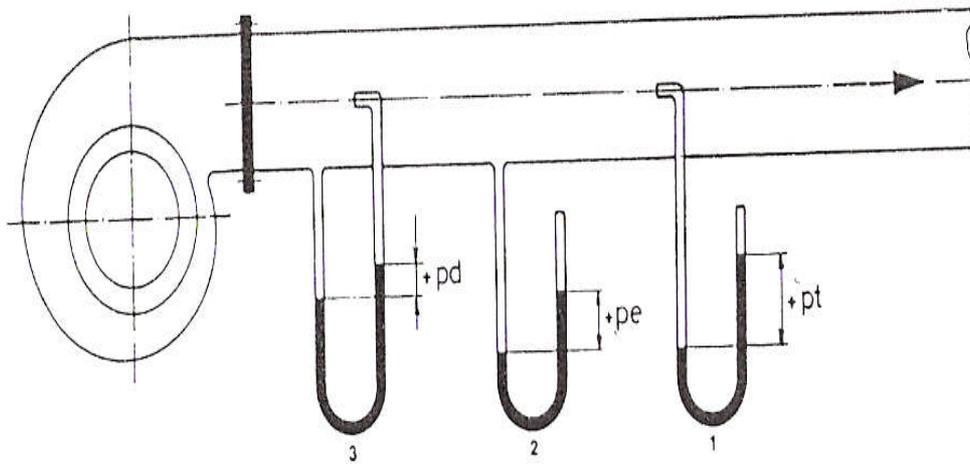


Figura 1.2. conducto de impulsión.

En los conductos de aspiración la presión estática (P_e) y presión total (P_t) son negativas, figura 1.3.

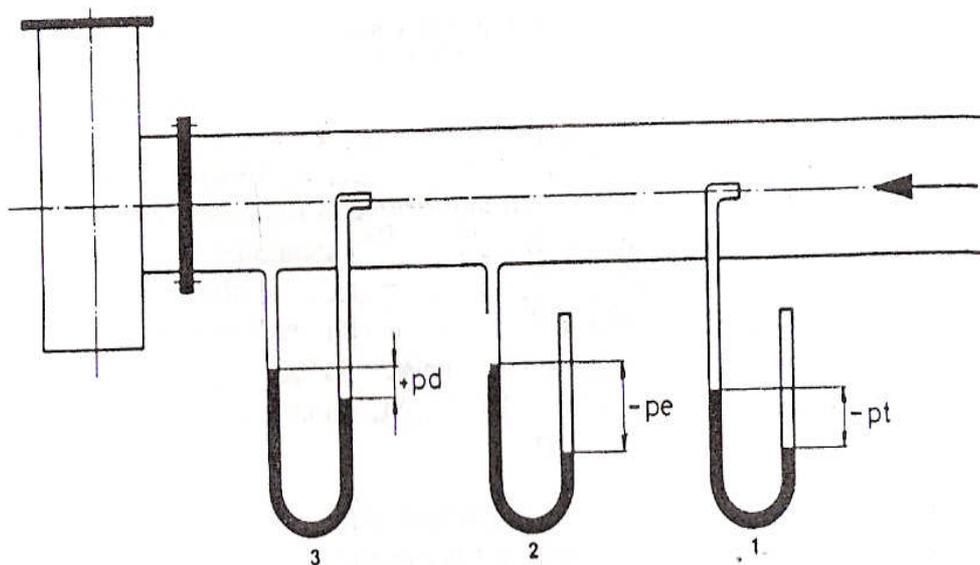


Figura 1.3. conducto de aspiración.

La presión dinámica (P_d), que corresponde a la velocidad del flujo siempre es positiva y podemos decir que:

$$\text{Presión total} = \text{Presión estática} + \text{Presión dinámica.}$$

Caracterizándose los ventiladores por su presión total.

1.5 Medidas de presión.

La cantidad de presión necesaria en ventilación es relativamente pequeña, las presiones de los ventiladores no se miden con manómetros comunes y corrientes.

La medida usada es el peso del agua que soporta la presión del aire.

1.6 Aparatos de medida.

Las presiones absolutas se miden a partir de la presión cero, los aparatos usados son los barómetros.

Las presiones efectivas se miden a partir de la presión atmosférica, los aparatos utilizados son los manómetros.

Las presiones estática, dinámica y total son de este tipo, los aparatos que se usan son los micromanómetros.

1.7 Tubo de Pitot : mide directamente la presión total (P_t), por medio de un tubo abierto que recibe la presión del aire contra su dirección y que conecta su otro extremo a un manómetro, es un tubo en forma de U, lleno de agua abierto a su otro extremo a la presión atmosférica y cuyo desnivel del líquido en las dos ramas señala la presión total (P_t) en mm.c.d.a. (milímetros columna de agua).

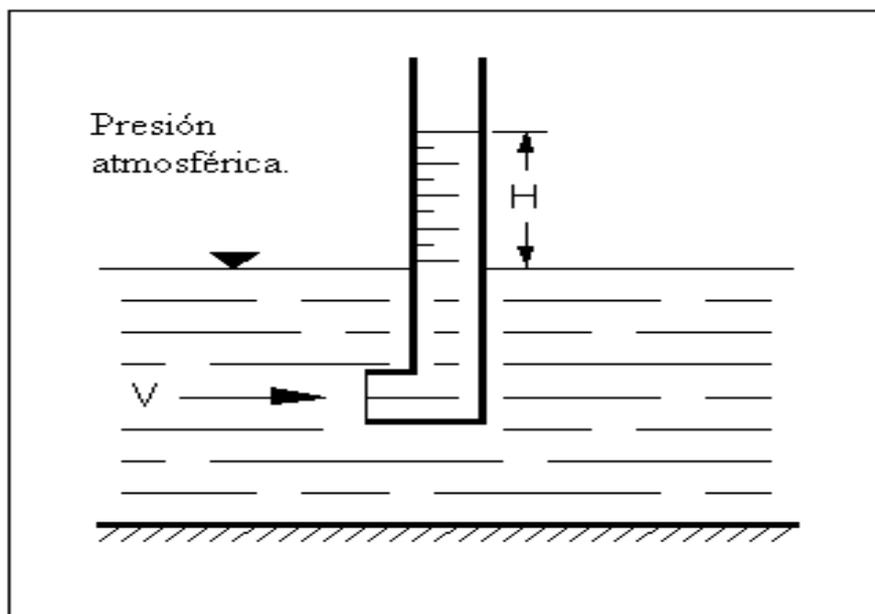


Figura 1.4. tubo de pitot.

1.8 Sonda de presión estática: Mide la presión estática (P_e), por medio de un tubo ciego dirigido contra la corriente del aire y abierto por unas rendijas en el sentido de la misma, en su otro extremo se conecta a un manómetro de columna de agua, que está abierto a la presión atmosférica.

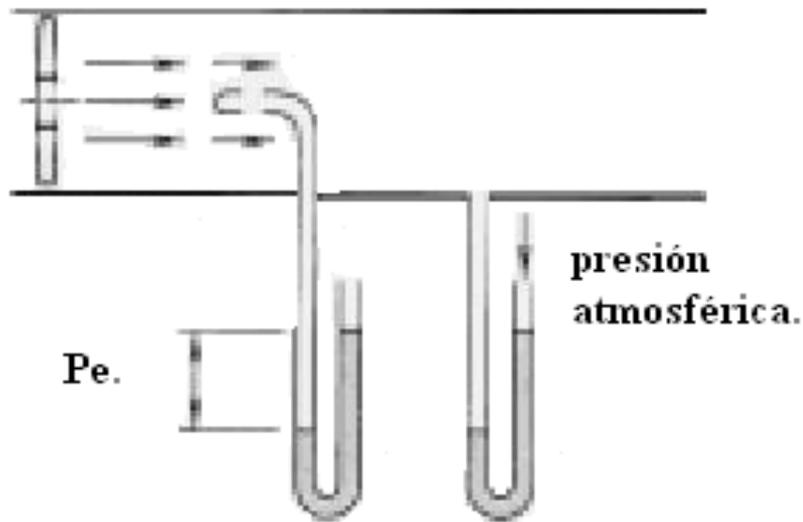


Figura 1.5. sonda de presión.

1.9 Tubo de Prandtl: es una combinación del tubo de Pitot y la sonda de presión estática. El Pitot constituye el tubo central, que está abierto a la corriente de aire y está envuelto por una sonda que capta la presión estática, como los extremos de ambos acaban en un mismo manómetro se cumple la fórmula.

$$P_t - P_e = P_d.$$

Con lo que se indica la presión dinámica.

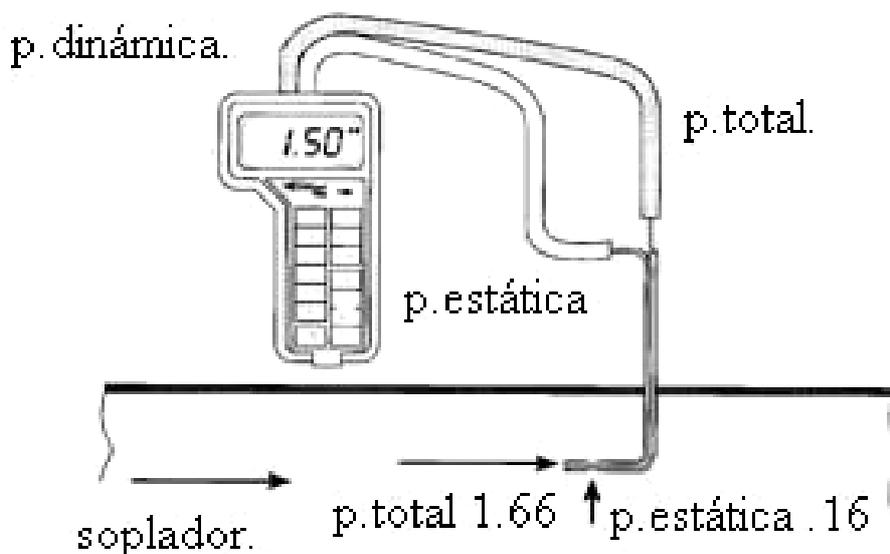


Figura 1.6. tubo de Prandtl.

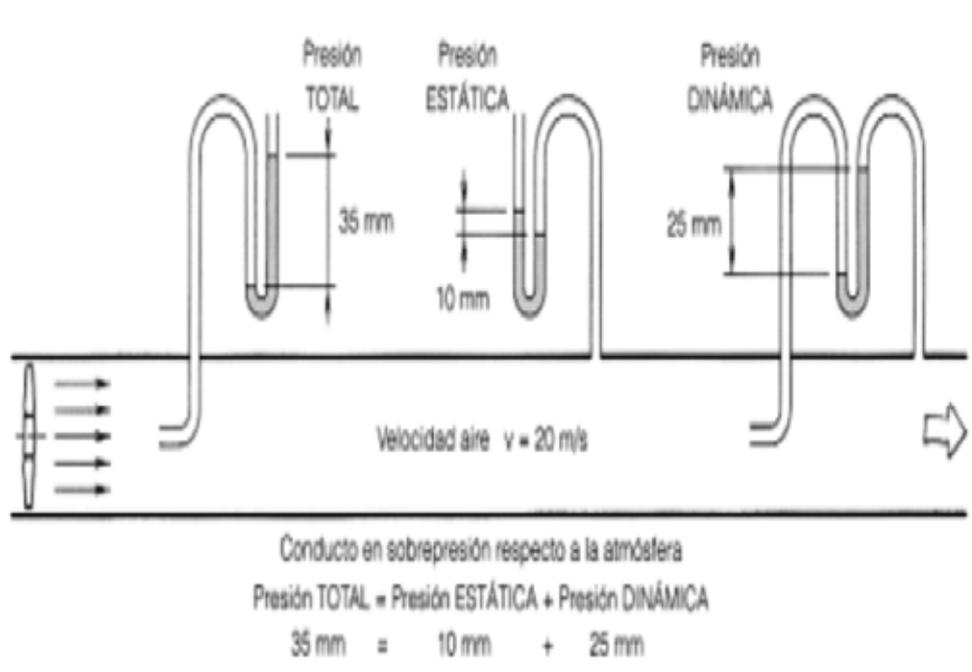


Figura 1.7. conducto de sobrepresión respecto a la atmósfera.

1.10 Requisitos de la ventilación.

Algunas personas confunden el significado de aire acondicionado y ventilación. Aire acondicionado significa que se da suministro de aire a un lugar ocupado y es adaptado a las condiciones requeridas, limpieza, refrigeración, calefacción, secado y humidificación. Con estos procedimientos es posible normalizar cualquier clase de atmósfera.

La ventilación implica suministro de aire a temperatura ambiente, la eliminación de los productos de contaminación y del calor.

El requisito esencial en ventilación es reemplazar el aire contaminado y sobrecalentado, por aire del exterior.

Para determinar la cantidad de ventilación y el movimiento de aire requerido, hay que tener en cuenta los siguientes factores.

- Calcular los m^3 del local a ventilar, esto se logra multiplicando las dimensiones de dicho local.
- Verificar en la tabla de renovaciones de aire, para saber el número de renovaciones que se utilizará.

Tabla 1.1 Renovaciones de aire por hora.

NATURALEZA DEL LOCAL	RENOVACIONES DE AIRE POR HORA*
Bancos	2-4
Bares de hotel	4-6
Cafés y bares de cafés	10-12
Cantinas	4-6
*** Cines	10-15
Cocinas comerciales o de escuela	15-20
Cocinas domésticas	10-15
*** Despachos	4-6
Fábricas en general	6-10
Fundiciones	20-30
Garajes	6-8
Habitaciones en los barcos	10-20
Hospitales	4-6
Iglesias	1-2
Laboratorios	4-6
Lavandería	20-30
Panadería	20-30
Piscina	20-30
Pollería	6-10
Residencia	1-2
Restaurante	6-10
*** Sala de baile	6-8
Sala de billares	6-8
Sala de calderas	20-30
Sala de máquinas	20-30
Sala de un club	8-10
Sala oscura de fotografías	10-15
Sala para banquetes	6-10
Sala para clases	2-3
Talleres de fabricación	6-10
Talleres de pintura	30-60
*** Teatros	10-15
Tintorerías	20-30
Tocinería	6-10

* Las renovaciones de aire hasta ocho a la hora, aseguran la eliminación de las poluciones provocadas por las personas. Los cambios más frecuentes aseguran la eliminación de calor y el vapor en las zonas calentadas. En los climas cálidos, el número de hora cambio debe ser al menos del doble.

*** Cuando se fume en estos locales, doblar el número de renovaciones de aire indicadas.

1.11 Velocidades de ventilación recomendada.

Una base para estimar la velocidad de renovación de aire es el número de veces, por hora que el aire contenido que en un edificio o local, debe reemplazarse por aire del exterior.

El procedimiento consiste en calcular el volumen interior total en m^3 y multiplicar este volumen por el número de renovaciones deseadas por hora. El cálculo de la ventilación sobre la base de intercambio de aire por hora es como sigue.

$$L * A * H * RN = \text{cantidad de aire necesaria en } \frac{m^3}{hr} \quad \text{Donde:}$$

L = Largo total del local.

A = Ancho total del local.

H = Altura total del local.

RN = Renovaciones de aire por hora según tabla 1.1.

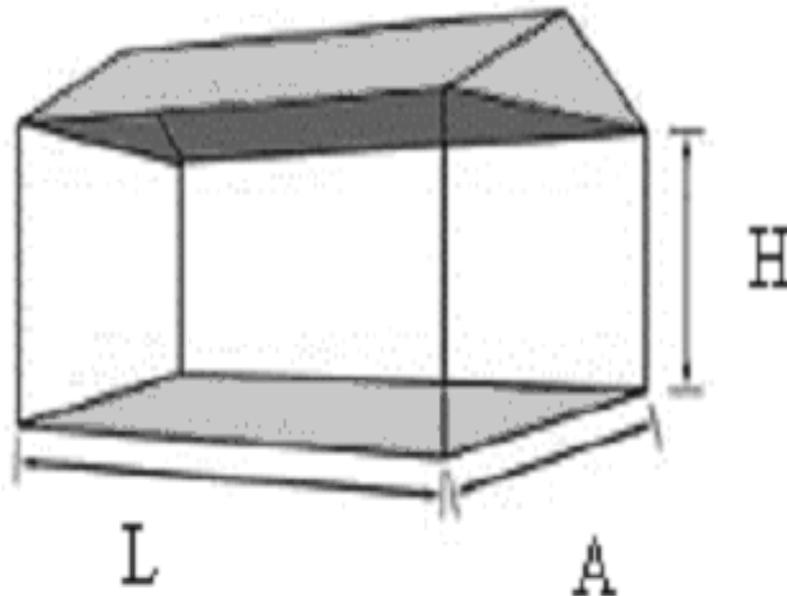


Figura 1.8. Volumen de un local.

1.12 Ejemplo práctico.

Se requiere ventilar una tintorería, la cual tiene unas dimensiones de 10m de longitud, 6m de ancho y 5.5m de alto.

Utilizando la fórmula para determinar los m^3 se tiene que:

$$L * A * H = m^3.$$

$$10m * 6m * 5.5 m = 330m^3.$$

Según la tabla de renovaciones de aire es de 20 a 30 renovaciones de aire, en donde tomaremos el valor mayor esto debido a cuestiones de futuras modificaciones o ampliaciones de l local.

$$10m * 6m * 5.5m * 20 \frac{Ren}{h} = 6,600 \frac{m^3}{h}. \text{ caudal mínimo.}$$

$$10m * 6m * 5.5 m * 30 \frac{Ren}{h} = 9,900 \approx 10,000 \frac{m^3}{h}. \text{ caudal máximo.}$$

Este cálculo nos arroja un resultado de un volumen o caudal de $10,000 \frac{m^3}{h}$.

En base a este dato se procederá a diseñar, comprar o adquirir el equipo adecuado y con la capacidad para manejar este volumen de aire, que se verá en el siguiente capítulo.

CAPITULO 2.
DISEÑO Y APLICACIÓN PRÁCTICA
DEL EXTRACTOR DE AIRE.

CAPITULO 2.

DISEÑO Y APLICACIÓN PRÁCTICA DEL EXTRACTOR DE AIRE.

2.1 Turbomáquinas hidráulicas.

Turbomáquina: es una máquina rotatoria, provista de alabes que transforma la energía de fluido a rotor o de rotor a fluido.

- Máquina hidráulica: es aquella en que el fluido que intercambia su energía no varía sensiblemente de densidad en su paso a través de la máquina (ventilador).
- Máquina térmica: es aquella en que el fluido en su paso, a través de la máquina varía sensiblemente de densidad y de volumen específico (compresor).
- Ventilador: es la turbomáquina que absorbe energía mecánica y restituye energía a un gas, comunicándole un incremento de presión.
- Compresor: es la turbomáquina análoga a la anterior, pero que comunica al gas un incremento de presión tal que el influjo de la compresibilidad no puede despreciarse. Con lo que se concluye que:
 1. En el cálculo y funcionamiento de un ventilador el gas se supone incompresible.
 2. El cálculo y funcionamiento del compresor el gas se supone compresible.
 3. El ventilador es una máquina hidráulica.
 4. El compresor es una máquina térmica.
 5. El ventilador nunca se refrigera porque al ser la compresión pequeña (teóricamente despreciable), el gas no se calienta.
 6. El compresor con mucha frecuencia es refrigerado.

2.2 Clasificación de las máquinas hidráulicas.

1^{er}. Clasificación de las turbomáquinas.

Atendiendo a la dirección de la transformación de la energía:

- a) Turbomáquinas motrices : transforman la energía del fluido al rotor (turbinas de gas, turbinas de vapor etc.).
- b) Turbomáquinas generatrices: Transforman la energía de rotor a fluido (bombas, propelas, ventiladores etc.).

2^a Clasificación de las turbomáquinas.

Atendiendo al fluido manejado.

- a) Máquinas térmicas: flujo compresible ($\rho \neq cte$).
(turbocompresores, turbinas de gas, turbinas de vapor etc.).
- b) Máquinas hidráulicas: flujo incompresible dentro de la turbomáquina la densidad permanece constante ($\rho = cte$).
(ventiladores, bombas etc.).

3^a Clasificación de las turbomáquinas.

Atendiendo a la dirección que toma el flujo del fluido dentro de la máquina.

- a) Máquinas de flujo radial: las líneas de corriente viajan en dirección del radio de la máquina.

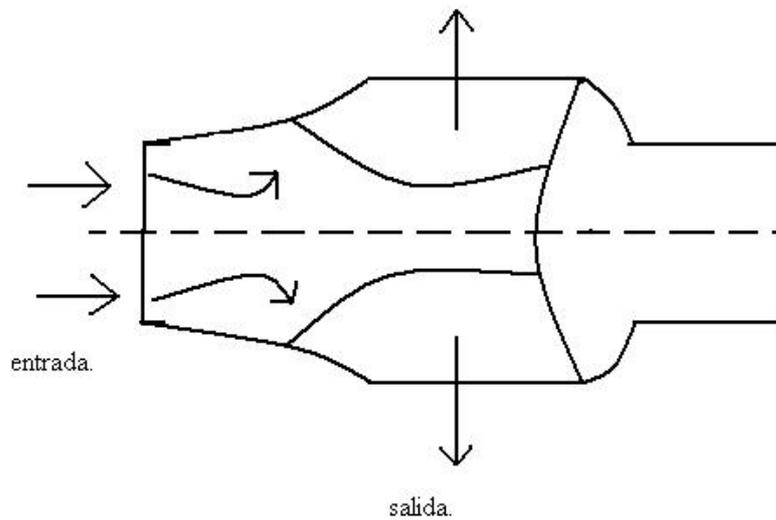


Figura 2.1 cambio en la dirección radial de flujo (entrada 0°-salida 90°).

- b) Máquina de flujo axial: las líneas de corriente viajan en paralelo al eje de la máquina.

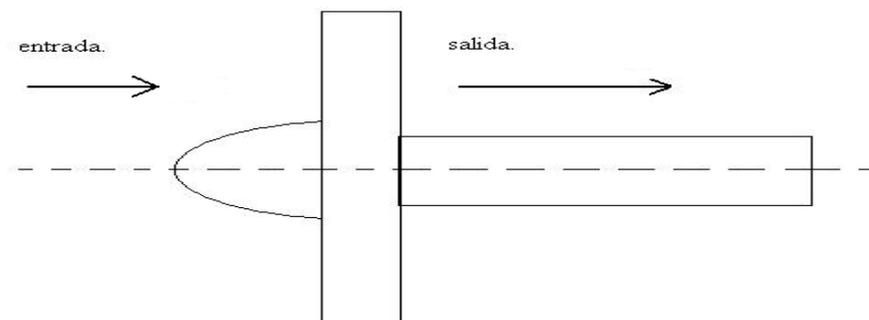


Figura 2.2 flujo axial (entrada y salida a 0°).

4^a Clasificación de las turbomáquinas.

Atendiendo a la posición de la flecha de la turbomáquina.

- a) Máquinas horizontales.
- b) Máquinas verticales.
- c) Máquinas inclinadas.

5^a Clasificación de las turbomáquinas.

Atendiendo a la construcción del rotor.

- a) Rotor abierto.
- b) Rotor cerrado.
- c) Rotor semiabierto.

A continuación se muestra un cuadro sinóptico de la clasificación de las turbomáquinas hidráulicas.

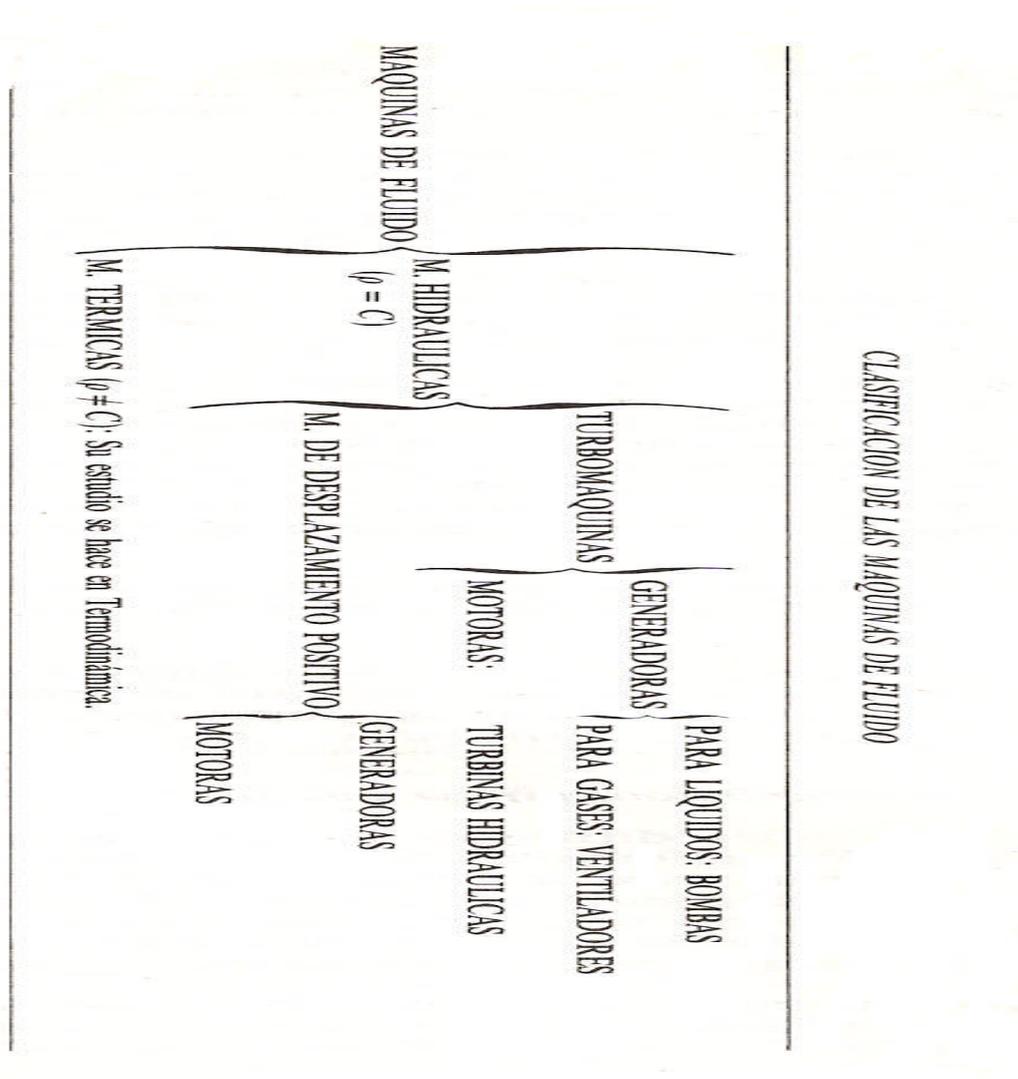


Figura 2.3 clasificación de las máquinas de fluido

2.3 Ecuación de continuidad.

Línea de corriente: es la trayectoria que describe una partícula a través de un fluido de tal manera que una tangente a dicha trayectoria nos da la dirección de la velocidad promedio para ese punto.

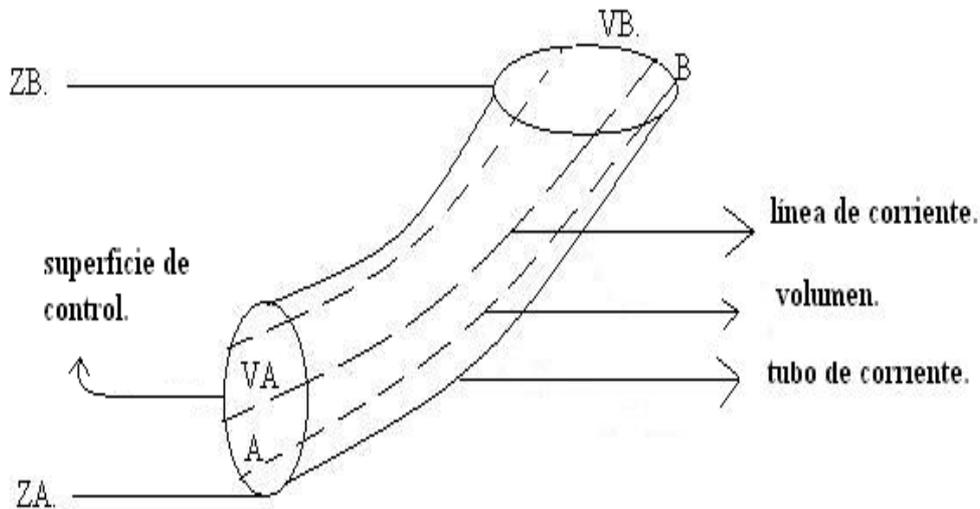


Figura 2.4 tubo de corriente.

La ecuación de continuidad establece que lo que entra es igual a lo que sale del volumen.

$$\dot{m} = \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = cte. \dots \dots \dots (2.1)$$

Si la densidad al fluido permanece constante ($\rho_1 = \rho_2 = cte$), el flujo volumétrico será:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = A_1 V_1 = A_2 V_2 = cte. \text{ (para máquinas de flujo incompresible)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Principio de conservación de la energía (Teorema de Bernoulli).

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 = cte. \dots \dots \dots (2.3)$$

2.4 Deducción de la ecuación fundamental de las turbomáquinas(carga de Euler)

La ecuación de Euler es fundamental para el estudio de las turbomáquinas, tanto de las turbomáquinas hidráulicas, como la de las turbomáquinas térmicas. Es la ecuación que representa la energía intercambiada en el rodete de todas estas máquinas.

La deducción de la ecuación de Euler se hará en relación a la figura 2.5.

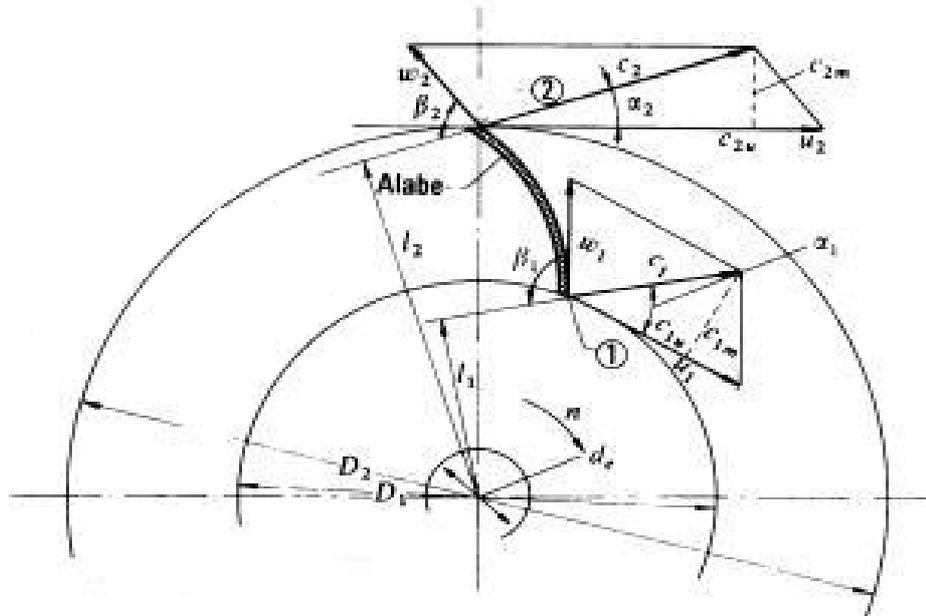


Figura 2.5 corte transversal de un rodete de una bomba centrífuga.

Se conoce que el rodete de una bomba o de un ventilador, solo se diferencia en que el fluido bombeado no es un líquido si no un gas; pero todo el razonamiento y por lo tanto la fórmula de Euler, será válida para todas las turbomáquinas.

Sea c_1 la velocidad absoluta de una partícula de fluido a la entrada de un alabe, (punto 1 en la figura). El rodete accionado por el motor de la bomba gira a una velocidad n , (rpm). En el punto 1 el rodete tiene una velocidad periférica, $u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}$.

Con relación al alabe el fluido se mueve con una velocidad w_1 , llamada velocidad relativa a la entrada. Las tres velocidades c_1, u_1 y w_1 están relacionadas por la ecuación vectorial:

$$\vec{w}_1 = \vec{c}_1 - \vec{u}_1 \dots\dots\dots(2.4)$$

El alabe o su tangente tiene la dirección del vector w_1 , con lo que la partícula entra sin choque en el alabe. La partícula guiada por el alabe sale del rodete con una

velocidad \overline{w}_2 , que será tangente al alabe en el punto 2, en dicho punto el alabe tiene la velocidad periférica \overline{u}_2 . La misma composición de la ecuación (2.4) nos proporciona la velocidad absoluta a la salida, \overline{c}_2 .

$$\overline{w}_2 = \overline{c}_2 - \overline{u}_2 \dots\dots\dots(2.5)$$

La partícula de fluido ha sufrido, en su paso por el rodete un cambio de velocidad de \overline{c}_1 a \overline{c}_2 .

Del teorema de la cantidad de movimiento, se deduce el teorema del momento cinético el cual es:

$$d\overline{F} = dQ\rho(\overline{c}_2 - \overline{c}_1) \dots\dots\dots(2.6)$$

Tomando momentos de la ecuación (18.3) con relación al eje de la máquina tendremos:

$$dM = dQ\rho(l_2c_2 - l_1c_1) \dots\dots\dots(2.7)$$

que es el teorema del momento cinético donde:

- dM - momento resultante con relación al eje de la máquina de todas las fuerzas que el rodete ha ejercido sobre las partículas que integran el filamento de corriente considerado para hacerle variar su momento cinético.
- dQ - Caudal del filamento.
- l_2, l_1 - brazos del momento de los vectores c_2 y c_1 respectivamente (ver figura 2.5).

Suponemos que todas las partículas del fluido entran en el rodete a un diámetro D_1 con la misma velocidad c_1 , y salen a un diámetro D_2 con la misma velocidad c_2 . Esto equivale a que todos los filamentos de corriente sufren la misma desviación, lo cual a su vez implica que el número de alabes es infinito, aplicando esta hipótesis llamada teoría unidimensional, al integrar la ecuación (2.7) el segundo miembro es constante obteniéndose:

$$M = Q\rho(l_2c_2 - l_1c_1)$$

donde:

- M - momento total comunicado al fluido o momento hidráulico.
- Q - caudal total.

Pero de la figura 1 tenemos que:

$$l_1 = r_1 \cos \alpha_1 \text{ y } l_2 \cos \alpha_2$$

luego:

$$M = Q\rho(r_2c_2 \cos \alpha_2 - r_1c_1 \cos \alpha_1) \dots\dots\dots(2.8)$$

Este momento multiplicado por ω será igual a la potencia que el rodete comunica al fluido.

$$P_u = M\omega = Q\rho\omega(r_2c_2 \cos \alpha_2 - r_1c_1 \cos \alpha_1) \dots\dots\dots(2.9)$$

donde $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ velocidad angular del rodete.

Por otra parte, si llamamos Y_u a la energía específica intercambiada entre el rodete y el fluido, en nuestro caso la energía específica que el rodete comunica al fluido, y G al caudal másico que atraviesa el rodete se tendrá:

$$P_u (W) = G\left(\frac{kg}{s}\right)Y_u\left(\frac{J}{kg}\right) = Q\left(\frac{m^3}{s}\right)\rho\left(\frac{kg}{m^3}\right)g\left(\frac{m}{s^2}\right)H_E(m) \dots\dots\dots(2.10)$$

donde H_E - altura equivalente a la energía intercambiada en el fluido.

$$Y_u\left(\frac{J}{kg}\right) = Y_u\left(\frac{m^2}{s^2}\right) = H_E(m)g\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

Igualando las dos expresiones de la potencia ecuaciones (2.9) y (2.10) se tiene :

$$Q\rho Y_u = Q\rho\omega(r_2c_2 \cos \alpha_2 - r_1c_1 \cos \alpha_1) \dots\dots\dots(2.11)$$

pero:

$$\begin{aligned} r_1\omega &= u_1 & r_2\omega &= u_2 \\ c_1 \cos \alpha_1 &= c_{1u} & c_2 \cos \alpha_2 &= c_{2u} \end{aligned}$$

donde:

- c_{1u}, c_{2u} - proyecciones de c_1 y c_2 sobre u_1, u_2 ó componentes periféricas de las velocidades absolutas a la entrada y salida de los alabes.

Sustituyendo estos valores en la ecuación (18.1) se obtiene la ecuación de Euler.

$$Y_u = u_2c_{2u} - u_1c_{1u} \dots\dots\dots(2.12)$$

(Ecuación de Euler : bombas, ventiladores y turbocompresores)

Y_u será la energía específica intercambiada entre el rodete y el fluido. Por tanto para todas las turbomáquinas hidráulicas se tendrá.

$$Y_u = \pm(u_1c_{1u} - u_2c_{2u}) \dots\dots\dots(2.13)$$

En las turbomáquinas hidráulicas se prefiere utilizar la ecuación de Euler en forma de altura, en las máquinas hidráulicas la altura es una variable de gran significado físico:

altura bruta de un salto de agua, altura neta de una turbina hidráulica, altura de elevación de una bomba, etc.

De la variable $Y\left(\frac{m^2}{s^2}\right) = g\left(\frac{m}{s^2}\right) H(m) \dots \dots \dots (2.14).$

Por tanto dividiendo los dos terminaos de la ecuación (2.13) por g.

1ª. Forma de la ecuación de Euler (expresión en alturas).

$$H_E = \pm \left(\frac{u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u}}{g} \right) \dots \dots \dots (2.15).$$

2.5 Triángulos de velocidad.

Triángulos de velocidad: se representan mediante dos triángulos que se llaman triángulo de entrada, y triángulo de salida.

Estos triángulos se muestran en la siguiente figura .

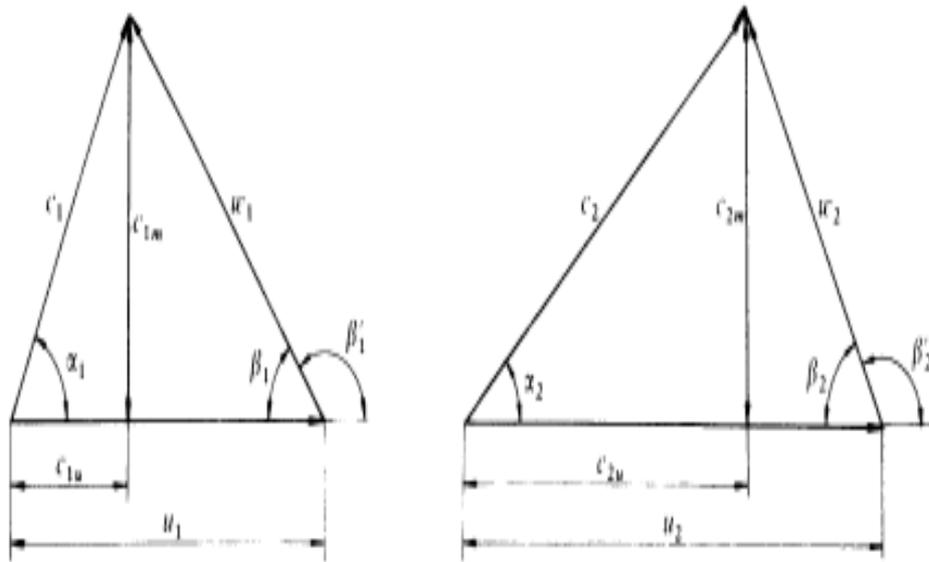


Figura 2.6 triángulos de velocidad de entrada y salida.

- u_1, u_2 : velocidades periféricas o tangenciales del rotor en la entrada y salida del mismo.
- w_1, w_2 : velocidades relativas a la entrada y salida del fluido, tangentes al alabe.
- c_1, c_2 : velocidades absolutas del fluido a la entrada y salida del rotor , suma vectorial de la velocidad periférica más la velocidad relativa.
- c_{1u}, c_{2u} : componentes de las velocidades absolutas en dirección periférica o tangencial.

- c_{1m}, c_{2m} : componentes de la velocidad en dirección meridional (para máquinas radiales $c_m = c_r$; y para máquinas axiales $c_m = c_a$).
- α_1, α_2 : ángulos de funcionamiento formados entre la velocidad absoluta de la partícula y la velocidad periférica del rotor (u).
- β_1, β_2 : ángulos de construcción del alabe formado entre la velocidad relativa (w) y la velocidad periférica en sentido contrario ($-u$).

Del triángulo de entrada se deduce trigonómicamente que:

$$w_1^2 = u_1^2 + c_1^2 - 2u_1c_1 \cos \alpha_1 = u_1^2 + c_1^2 - 2u_1c_{1u}u_1c_{1u} = \frac{1}{2}(u_1^2 + c_1^2 - w_1^2) \dots \dots \dots (2.16).$$

Así mismo del triángulo de salida se deduce que:

$$u_2c_{2u} = \frac{1}{2}(u_2^2 + c_2^2 + w_2^2) \dots \dots \dots (2.17).$$

llevando a la ecuación de Euler (2.13) los valores de u_1c_{1u} y u_2c_{2u} de las ecuaciones (2.16) y (2.17).

2ª forma de la ecuación de Euler (expresión energética).

$$Y_u = \pm \left(\frac{u_1^3 - u_2^3}{2} \right) + \left(\frac{w_2^2 - w_1^2}{2} \right) + \left(\frac{c_1^2 - c_2^2}{2} \right) \dots \dots \dots (2.18).$$

(signo +: máquinas motoras: turbinas hidráulicas, turbinas de vapor etc.)

(signo -: máquinas generadoras: bombas, ventiladores etc.)

Dividiendo por g ambos miembros de la ecuación (2.18).

$$H_E = \pm \left(\frac{u_1^3 - u_2^3}{2g} \right) + \left(\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right) + \left(\frac{c_1^2 - c_2^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (2.19)$$

(signo +: máquinas motoras: turbinas hidráulicas, turbinas de vapor etc.)

(signo -: máquinas generadoras: bombas, ventiladores etc.)

simplificando los triángulos de velocidades.

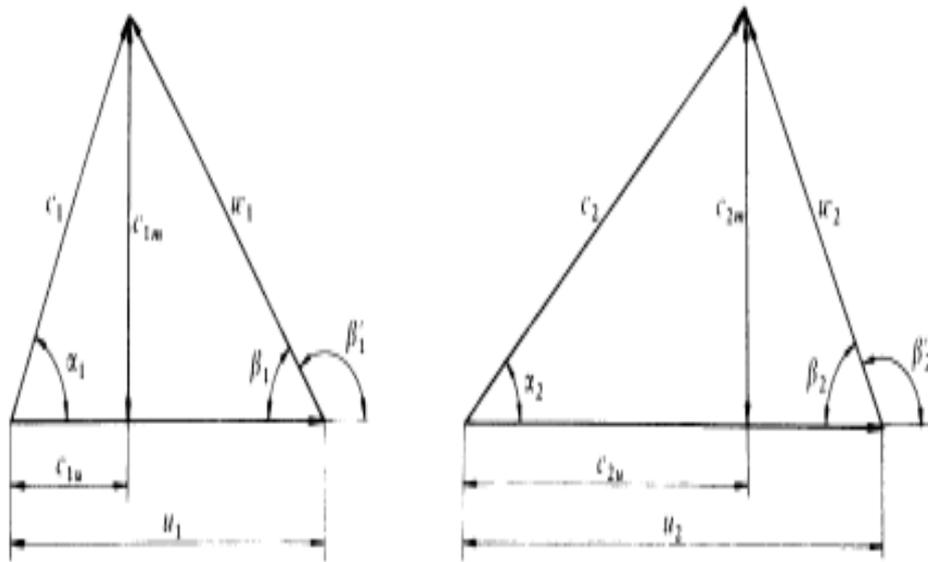


Figura 2.7 triángulos de velocidad de entrada y salida.

- $\text{sen} \alpha_1 = \frac{c_{1m}}{c_1} \Rightarrow c_{1m} = c_1 \cdot \text{sen} \alpha_1$
- $\text{sen} \alpha_2 = \frac{c_{2m}}{c_2} \Rightarrow c_{2m} = c_2 \cdot \text{sen} \alpha_2$
- $\text{cos} \alpha_1 = \frac{c_{1u}}{c_1} \Rightarrow c_{1u} = c_1 \cdot \text{cos} \alpha_1$
- $\text{cos} \alpha_2 = \frac{c_{2u}}{c_2} \Rightarrow c_{2u} = c_2 \cdot \text{cos} \alpha_2$

De acuerdo a la ley de los cosenos.

$$w_1^2 = u_1^2 + c_1^2 - 2c_1u_1 \cos \alpha_1$$

$$w_2^2 = u_2^2 + c_2^2 - 2c_2u_2 \cos \alpha_2$$

$$w_1^2 - u_1^2 - c_1^2 = -2c_1u_1 \cos \alpha_1$$

$$u_2^2 + c_2^2 - w_2^2 = 2c_2u_2 \cos \alpha_2$$

Sustituyendo en la ecuación de Euler (2.19).

$$H_E = \pm \left[\frac{2c_2 u_2 \cos \alpha_2 - 2c_1 u_1 \cos \alpha_1}{2g} \right]$$

$$H_E = \pm \left[\frac{c_2 u_2 \cos \alpha_2 - c_1 u_1 \cos \alpha_1}{g} \right]$$

$$H_E = \pm \left[\frac{c_{2u} \bullet u_2 - c_{1u} \bullet u_1}{2g} \right] \dots\dots\dots(2.20)$$

ecuación fundamental de las turbomáquinas(carga de Euler).

2.6 Diseño de un extractor de aire.

Se requiere ventilar una tintorería, la cual tiene unas dimensiones de 10m de longitud, 6m de ancho y 5.5m de alto.

Utilizando la fórmula para determinar los m³ se tiene que:

$$L * A * H = m^3.$$

$$10m * 6m * 5.5 m = 330m^3.$$

Según la tabla 1.1 de renovaciones de aire es de 20 a 30 renovaciones de aire, en donde tomaremos el valor mayor esto debido a cuestiones de futuras modificaciones o ampliaciones de l local.

$$10m * 6m * 5.5m * 20 \frac{Ren}{h} = 6,600 \frac{m^3}{h}. \text{ caudal mínimo.}$$

$$10m * 6m * 5.5 m * 30 \frac{Ren}{h} = 9,900 \approx 10,000 \frac{m^3}{h}. \text{ caudal máximo.}$$

Este cálculo nos arroja un resultado de un volumen o caudal de 10,000 $\frac{m^3}{h}$.

En base a este dato se procederá a diseñar, comprar o adquirir el equipo adecuado y con la capacidad para manejar este volumen de aire, que se verá en el siguiente capítulo.

Para la realización de este diseño se tomo un extractor ya diseñado y a continuación se muestran sus datos principales de operación, los cuales por medio de las leyes de semejanza de los ventiladores se modificarán para realizar un rediseño.

HXB-T

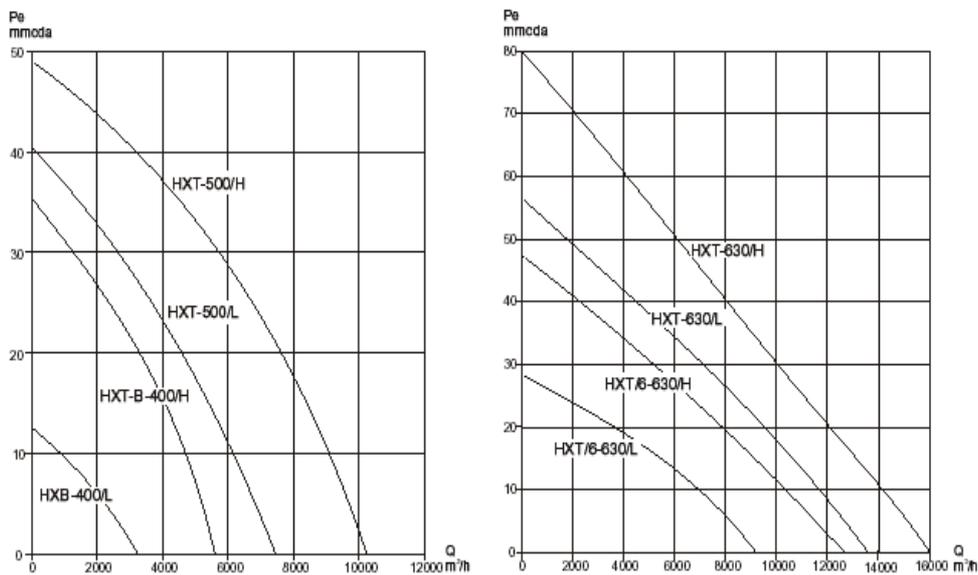


CARACTERISTICAS TECNICAS

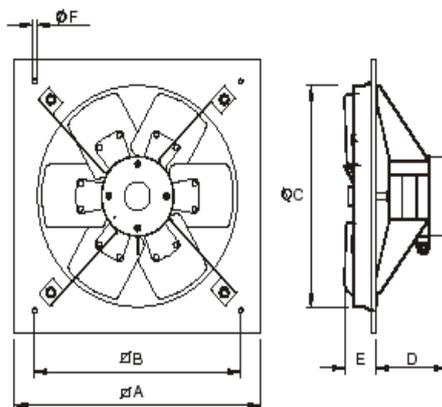
Modelo	Velocidad R.P.M.	Potencia H.P.	Caudal descarga libre m ³ /hr	Intensidad máxima (A)			Nivel Sonoro dB(A)*	Peso aprox. Kg
				440V	220V	127V		
HXB-400/L*	1625	1/8	3190	-	-	1.7	60	14
HXB-400/H*	1725	1/3	5450	-	-	2.9	64	15
HXT-400/H	1725	1/4	5450	-	2	-	64	15
HXB-500/L	1725	1/2	7630	-	-	5.7	68	19
HXT-500/L	1725	1/2	7630	1	2	-	68	19
HXB-500/H	1725	1/2	10180	-	-	5.7	71	18
HXT-500/H	1725	1/2	10180	1	2	-	71	18
HXT-630/L	1725	1	13500	1.9	3.8	-	77	29
HXT-630/H	1725	1 1/2	15930	2.2	4.4	-	78	29
HXT/6-630/L	1150	1/2	9180	1.5	3.2	-	70	30
HXT/6-630/H	1150	3/4	12590	2.1	4.2	-	73	35

Figura 2.8 datos técnicos del extractor de aire.

CURVAS CARACTERISTICAS



DIMENSIONES



DIMENSIONES mm						
Modelo	∅A	∅B	∅C	D	E	∅F
HXT-B 400/L	497	417	400	150	65	9.5
HXT-B 400/H	497	417	400	150	65	9.5
HXT-B 500/L	627	555	500	180	75	9.5
HXT-B 500/H	627	555	500	180	75	9.5
HXT-B 630/L	807	635	630	310	90	17.8

Figura 2.9 curva característica del extractor de aire.

EXTRACTOR

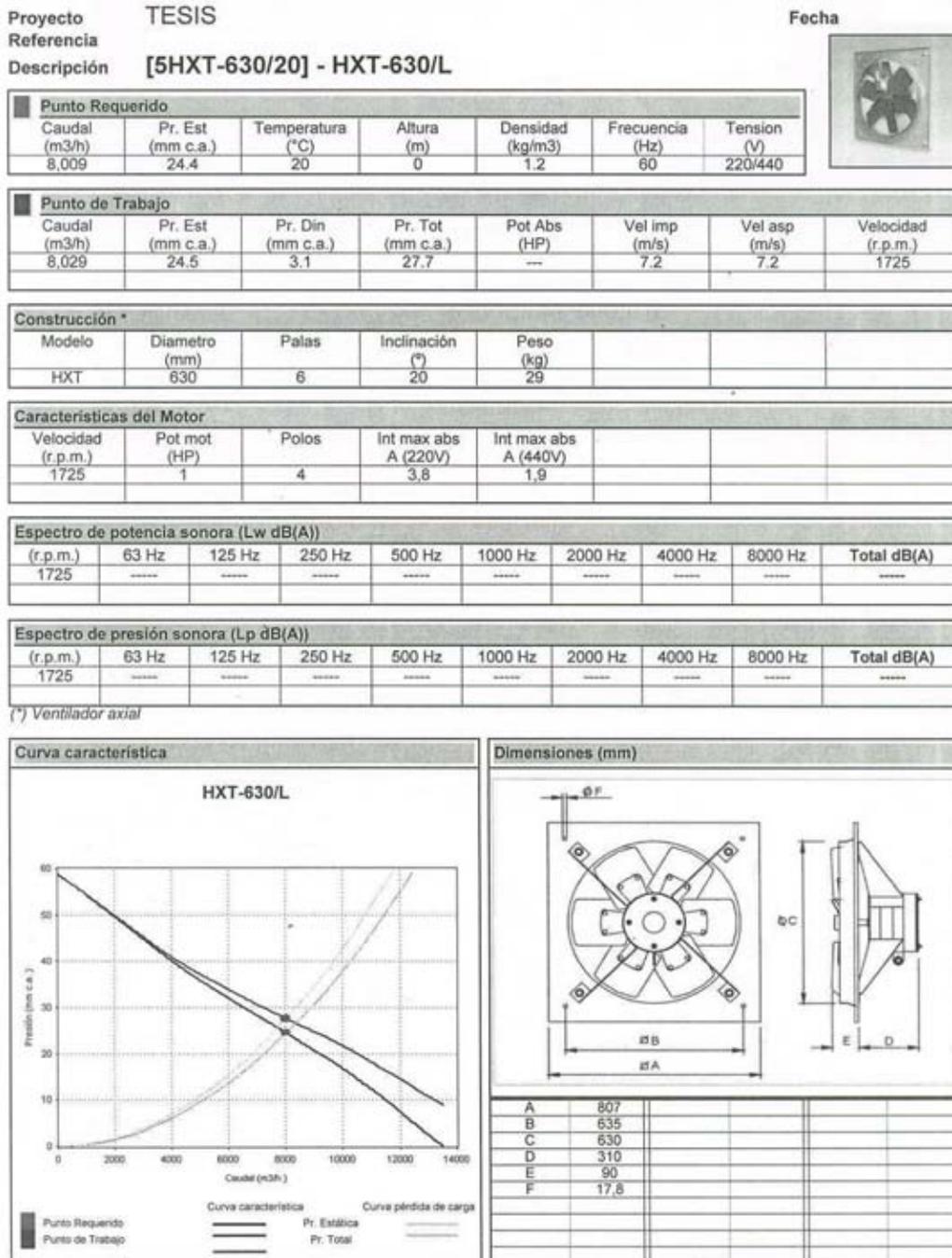


Figura 2.10 datos de operación del modelo.

EXTRACTOR

Proyecto TESIS
Referencia PROTOTIPO
Descripción [5HXT-630/20] - HXT-630/L

Fecha



Punto Requerido						
Caudal (m3/h)	Pr. Est (mm c.a.)	Temperatura (°C)	Altura (m)	Densidad (kg/m3)	Frecuencia (Hz)	Tension (V)
10,027	16.8					

Punto de Trabajo							
Caudal (m3/h)	Pr. Est (mm c.a.)	Pr. Din (mm c.a.)	Pr. Tot (mm c.a.)	Pot Abs (HP)	Vel imp (m/s)	Vel asp (m/s)	Velocidad (r.p.m.)
9,997	16.7	4.9	21.6	---			

Construcción *						
Modelo	Diametro (mm)	Palas	Inclinación (°)	Peso (kg)		
HXT	630	6				

Características del Motor					
Velocidad (r.p.m.)	Pot mot (HP)	Polos	Int max abs A (220V)	Int max abs A (440V)	

Espectro de potencia sonora (Lw dB(A))									
(r.p.m.)	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Total dB(A)
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Espectro de presión sonora (Lp dB(A))									
(r.p.m.)	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Total dB(A)
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

(*) Ventilador axial

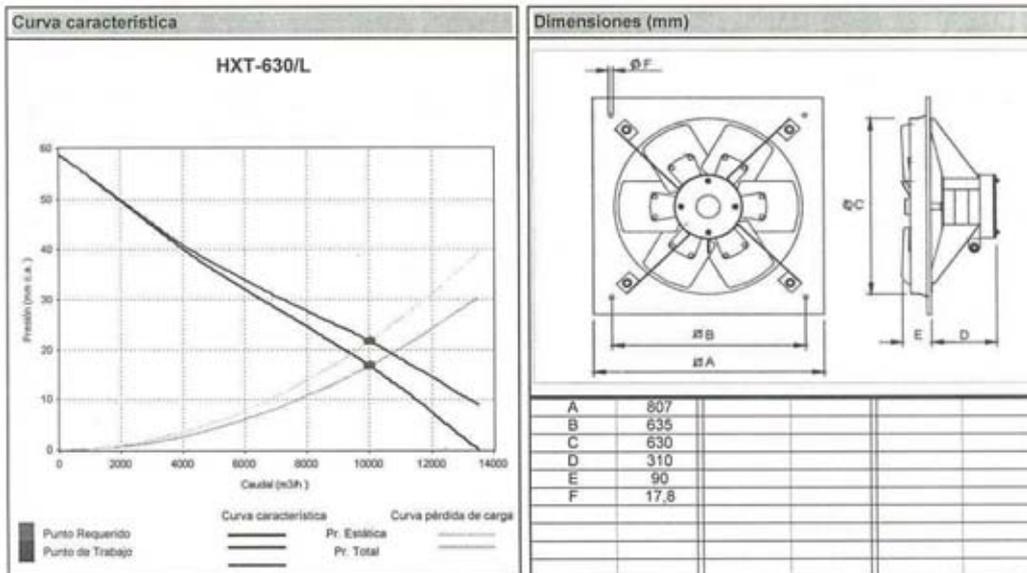


Figura 2.11 datos de operación del prototipo.

2.7 Las once leyes de semejanza de los ventiladores.

Ordinariamente cuando se elige un ventilador, hay que precisar sus cualidades de funcionamiento para acoplarlo al sistema utilizado.

Está adaptación es posible aplicando las leyes de los ventiladores que aunque teóricas, se pueden aceptar con suficiente precisión para los ventiladores reales, es decir con la misma inclinación de alabes y todas las dimensiones geométricamente en relación apropiada, ofrecen sus características con las misma proporcionalidad.

En un mismo ventilador:

1^a ley: Los caudales son directamente proporcionales al número de revoluciones.

2^a ley: Las presiones totales engendradas son directamente proporcionales al cuadrado de los diámetros.

3^a ley: Las potencias son directamente proporcionales al cubo del número de revoluciones.

En ventiladores geométricamente semejantes:

4^a ley: Los caudales son directamente proporcionales al cubo de los diámetros.

5^a ley: Las presiones totales engendradas son directamente proporcionales al cuadrado de los diámetros.

6^a ley: Las potencias son directamente proporcionales a la quinta potencia de los diámetros.

7^a ley: Los caudales no varían con la densidad del aire.

8^a ley: Las presiones estáticas engendradas varían en relación directa con la densidad.

9^a ley: Las potencias absorbidas varían directamente con la densidad.

10^a ley: Las presiones estáticas engendradas son directamente proporcionales a la presión barométrica e inversamente proporcional a la temperatura absoluta.

11^a ley: Las potencias son directamente proporcionales a la presión barométrica e inversamente proporcional a la temperatura absoluta.

2.8 Rediseño.

Si consideramos las funciones variables como son:

- Q = caudal.
- P_t = presión total.
- P_A = potencia absorbida.
- N = velocidad de rotación.
- D = diámetro del rodete.
- ρ = densidad del aire.

1.- Cuando se modifica la velocidad de rotación del rodete, se tiene que:

a) El caudal o volumen de aire circulante está en proporción directa con la relación de velocidades de rotación.

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \dots\dots\dots(2.21)$$

b) La presión total disponible a la salida del ventilador es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad de rotación. Igualmente lo son la presión estática y dinámica.

$$P_{t2} = P_{t1} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \dots\dots\dots(2.22)$$

c) La potencia absorbida por el ventilador para su accionamiento es directamente proporcional al cubo de la relación de velocidades de rotación.

$$P_{A2} = P_{A1} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \dots\dots\dots(2.23)$$

2.- Para una misma velocidad de rotación, caso de ventiladores similares con rodetes geoméricamente comparables y para pequeñas diferencias en el diámetro, se asume que:

a) El caudal es directamente proporcional al cubo del diámetro del rodete.

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 \dots\dots\dots(2.24)$$

b) La presión total y, por lo tanto, la presión estática y dinámica es proporcional al cuadrado del diámetro del rodete.

$$P_{t2} = P_{t1} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \dots\dots\dots(2.25)$$

c) La potencia absorbida es proporcional a la quinta potencia del diámetro del rodete.

$$P_{A2} = P_{A1} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 \dots\dots\dots(2.26)$$

Tomando la ecuación 2.21 , para conocer las rpm, se tiene.

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = ; N_2 = N_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right) = ; N_2 = 1725rpm \left(\frac{10,000 \frac{m^3}{h}}{8,000 \frac{m^3}{h}} \right) = 2156 \text{ rpm.}$$

A carga constante tanto para el modelo como para el prototipo (caudal ≠ en modelo y en prototipo).

Tomando la ecuación 2.22 , para conocer las rpm, se tiene.

$$P_{t2} = P_{t1} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = ; N_2 = N_1 \left(\frac{P_{t2}}{P_{t1}} \right)^{\frac{1}{2}} = ; N_2 = 1725rpm \left(\frac{25}{17} \right)^{\frac{1}{2}} = 2091 \text{ rpm.}$$

A caudal constante tanto para el modelo como para el prototipo y carga o presión diferente.

Para conocer la potencia se calculará la densidad y el peso específico del aire.

Tomaremos la temperatura promedio y la presión barométrica de la zona de Tacubaya DF (correspondiente al período 1981-2000. ver apéndice).

Se tiene que:

Densidad del aire a una temperatura de 17.5° C. (promedio anual).

Calculando la temperatura absoluta $T = 273 + 17.5 = 290^\circ \text{ K}$.

Presión barométrica = 774.8 mb = .588 m c. d. Hg.

Aplicando la ley general de los gases:

$$R_{aire} = \left(287 \frac{N.m}{kg^\circ k} \right)$$

$$Pv = RT = \frac{1}{v} = \frac{P}{RT} = \rho(\text{densidad}).$$

$$\rho = \frac{P}{RT} \left(\frac{78450.57 \frac{N}{m^2}}{287 \frac{N \cdot m}{kg \cdot K} * 290.5 K} \right) = 0.940 \frac{kg}{m^3}$$

$$P = (.588 m.c.dHg) \left(13600 \frac{kgf}{m^3} \right) = \left(7997 \frac{kgf}{m^2} \right) \left(9.81 \frac{N}{kgf} \right) = 78450.57 \frac{N}{m^2}.$$

$$\gamma = \rho g = \left(0.940 \frac{kgm}{m^3} \right) \left(9.81 \frac{N}{kgm} \right) = 9.22 \frac{N}{m^2}$$

Para el incremento en la presión tenemos que:

$$\text{Presión } \Delta P = \Delta H * \gamma_{H_2O}$$

$$\Delta P_{h_2o} = 0.017 mcd_{H_2O}.$$

$$\Delta P = (0.017 mcd_{H_2O}) \left(9810 \frac{N}{m^3} \right) = 166.77 \frac{N}{m^2}.$$

$$\text{Potencia entregada} = Q\gamma\Delta H = Q\Delta P.$$

$$Q\Delta P = \left(10,000 \frac{m^3}{h} \right) \left(\frac{1h}{3600s} \right) \left(166.77 \frac{N}{m^2} \right) = 463.25 \frac{N \cdot m}{s} \approx 463.25 W.$$

Ahora se calculará el diámetro medio y sus velocidades de entrada.

$$D_m = \left(\frac{D_e + D_n}{2} \right) = \left(\frac{(0.6096m + 0.127m)}{2} \right) = 0.3683m.$$

$$U_e = \frac{\pi D_e n}{60} = \frac{\pi (0.6096m) \left(2100 \frac{rev}{min} \right)}{60 \frac{s}{1min}} = 67.02 \frac{m}{s}.$$

$$U_n = \frac{\pi D_n n}{60} = \frac{\pi (0.127m) \left(2100 \frac{rev}{min} \right)}{60 \frac{s}{1min}} = 13.96 \frac{m}{s}.$$

$$U_m = \frac{\pi D_m n}{60} = \frac{\pi(0.3683m) \left(2100 \frac{rev}{min} \right)}{60 \frac{s}{1min}} = 40.49 \frac{m}{s}.$$

$$A_1 = A_2 = A_e - A_n.$$

$$A = \left(\frac{\pi(D_e)^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi(D_n)^2}{4} \right) = \frac{\pi}{4} \left[(0.6096m)^2 - (0.127m)^2 \right] = 0.2791m^2.$$

$$C_m = \frac{Q}{A} = \frac{10,000 \frac{m^3}{h} \left(\frac{1h}{3600s} \right)}{0.2791m^2} = 9.95 \frac{m}{s}.$$

$$C_{1m} = C_{2m} = C_m \text{ (para máquinas axiales).}$$

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = \Delta p = \gamma h = \left(9810 \frac{N}{m^3} \right) (0.017m.c.H_2O) = 166.77 \frac{N}{m^2}.$$

$$\beta_1 = \arctg \frac{C_{1m}}{W_{1u}} = \arctg \frac{C_1}{W_1} = \arctg \frac{9.95 \frac{m}{s}}{40.49 \frac{m}{s}} = 13.80^\circ. \quad \therefore \alpha_1 = 90^\circ$$

$$\Delta P = (\gamma h)_{H_2O} = (\gamma h)_{aire} = cte.$$

$$166.77 = (\gamma h)_{aire} = h_{aire} = \left(\frac{166.77 \frac{N}{m^2}}{9.22 \frac{N}{m^3}} \right) = 18.08m.c.aire = H_{neta}.$$

Eficiencia ηh .

$$\eta h = \frac{H_{neta}}{H_E} = H_E = \frac{H_{neta}}{\eta h}.$$

$$H_E = \frac{H_{neta}}{\eta h} = H_E = \frac{18.08m}{0.90} = 20.08m.$$

$$H_E = \frac{C_{2u} U_m - C_{1u} U_m}{g} = \frac{[C_{2u} - C_{1u}] U_m}{g} = \left(\frac{4.86 \frac{m}{s} 40.49 \frac{m}{s}}{9.81 \frac{m}{s^2}} \right) = 20.05m.$$

$$C_{2u} = \frac{g H_E}{U_m} = \left(\frac{\left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) (20.08m)}{40.49 \frac{m}{s}} \right) = 4.86 \frac{m}{s}.$$

$$C_{1m} = C_{2m} = C_m.$$

Potencia neta.

$$P_n = Q\gamma H = \left(2.77 \frac{m^3}{s}\right) \left(9.22 \frac{N}{m^3}\right) (166.67 m.c.aire) = 4271.16 \frac{N.m}{s} \approx 4271.16 W.$$

Calculando la velocidad especifica o las rpm's especificas.

$$Q = 10,000 \frac{m^3}{h} \left(\frac{1h}{60 \text{ min.}}\right) = 166.66 \frac{m^3}{\text{min}} \left(\frac{1ft^3}{(0.3048m)^3}\right) = 5885 \frac{ft^3}{\text{min}} \text{ ó CFM.}$$

$$\gamma_{aire} = 9.22 \frac{N}{m^3} = \rho g.$$

$$\rho = 0.94 \frac{kg}{m^3} \left[\frac{(0.3048m)^3}{1ft^3}\right] \left(\frac{2.2lb}{1kg}\right) = 0.058 \frac{lb}{ft^3}.$$

$$N_s = \frac{NQ^{1/2} \rho^{3/4}}{P^{3/4} K_p^{1/4}} = \frac{(2100rpm)(5885CFM)^{1/2} (0.058)^{3/4}}{(0.669)^{3/4} (1)^{1/4}} = 26001.92 rpm's \text{ especificas.}$$

$$N_{se} = 6.978 N_s = (6.978)(26001.92) = 181696.21.$$

$$N_{se} = 181,696.21.$$

$$D_s = \frac{DP^{1/4}}{\rho^{1/4} Q^{1/2} K_p^{1/4}} = \left(\frac{(24.875in)(0.669)^{1/4}}{(0.058)^{1/4} (5885CFM)(1)^{1/4}}\right) = 0.5975.$$

$$D_{se} = 0.5233 D_s = (0.5233)(0.5975) = 0.312.$$

$$D_{se} = 0.312.$$

$$(1in_{H_2O}) \left(\frac{25.4mm_{H_2O}}{17mm_{H_2O}}\right) = 0.669in_{H_2O}.$$

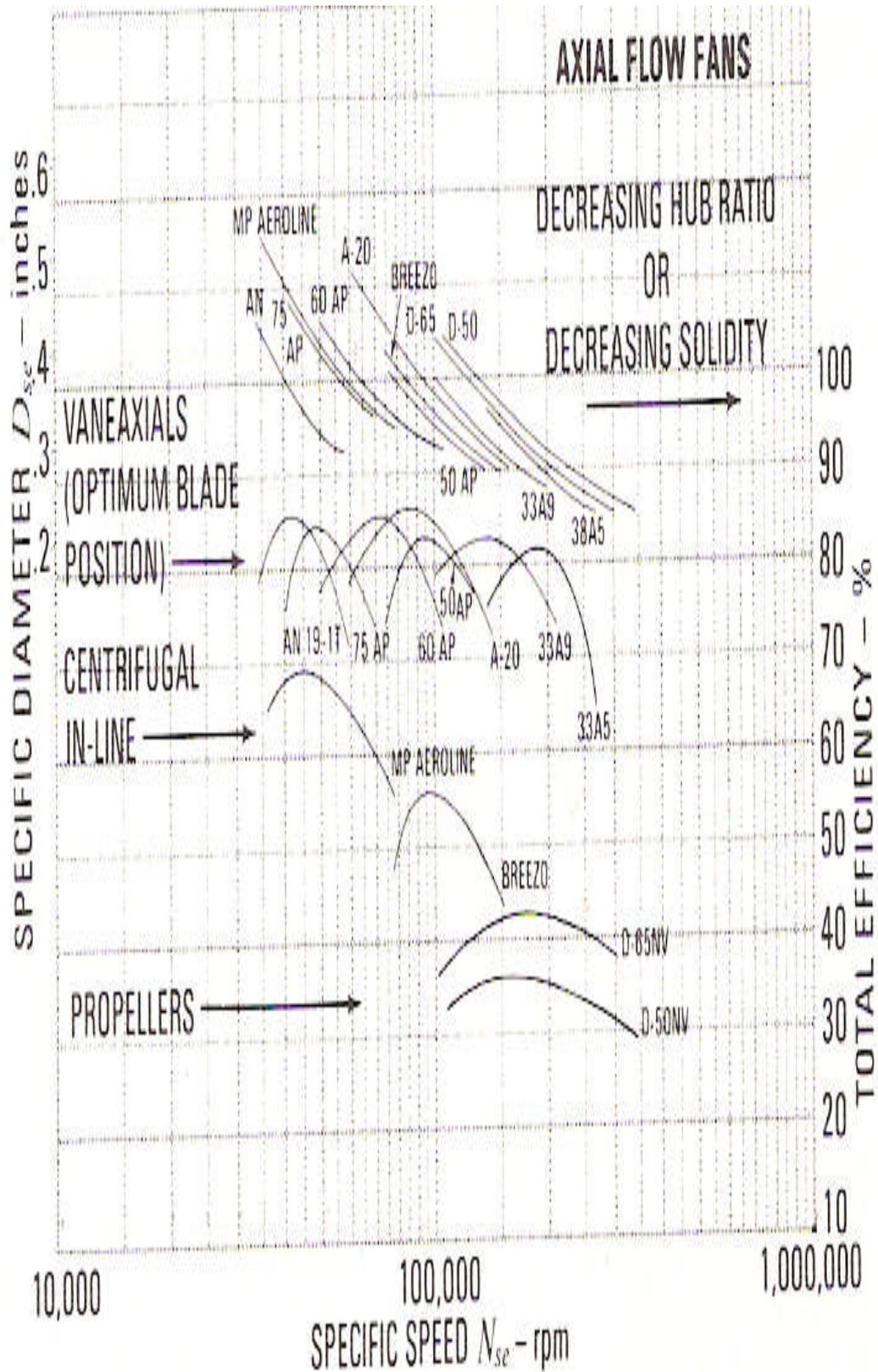


Figura 2.12 velocidades específicas y tamaños específicos para varios ventiladores

Regresando a las velocidades de entrada se tiene que:

$$U_e = \frac{\pi D_e n}{60} = \frac{\pi(0.6096m)\left(2100 \frac{rev}{min}\right)}{60 \frac{s}{1min}} = 67.02 \frac{m}{s}.$$

$$U_n = \frac{\pi D_n n}{60} = \frac{\pi(0.127m)\left(2100 \frac{rev}{min}\right)}{60 \frac{s}{1min}} = 13.96 \frac{m}{s}.$$

$$U_m = \frac{\pi D_m n}{60} = \frac{\pi(0.3683m)\left(2100 \frac{rev}{min}\right)}{60 \frac{s}{1min}} = 40.49 \frac{m}{s}.$$

$$C_{2u} = \frac{gH_E}{U_m} = \left(\frac{\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)(20.08m)}{40.49 \frac{m}{s}} \right) = 4.86 \frac{m}{s}.$$

$$W_{2u} = U_m - C_{2u} = \left(40.49 \frac{m}{s}\right) - \left(4.86 \frac{m}{s}\right) = 35.64 \frac{m}{s}.$$

Del triángulo de entrada (punto medio).

$$\beta_{m1} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_{1m}}{U_m} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_1}{C_{m1}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{9.95 \frac{m}{s}}{40.49 \frac{m}{s}} = 13.80^\circ.$$

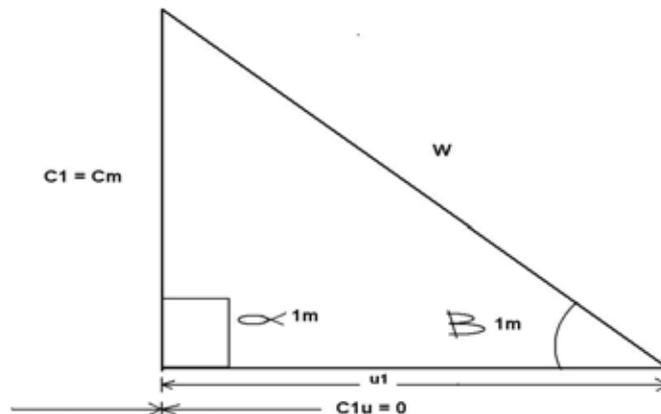


Figura 2.13 triángulo de entrada del punto medio.

Del triángulo de salida (punto medio).

$$W_{2u} = U_m - C_{2u} = \left(40.49 \frac{m}{s}\right) - \left(4.86 \frac{m}{s}\right) = 35.64 \frac{m}{s}.$$

$$\beta_{m2} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_{1m}}{W_{2u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_1}{W_{2u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{9.95 \frac{m}{s}}{35.64 \frac{m}{s}} = 15.59^\circ.$$

$$\therefore \alpha_1 = 90^\circ$$

Del triángulo de entrada (punto exterior).

$$H_E = \frac{C_{2u}U_e - C_{1u}U_e}{g} = \frac{[C_{2u} - C_{1u}]U_e}{g}.$$

$$C_{1u} = -\frac{gH_E}{U_e} + C_{2u} = -\frac{\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)\left(20.05 \frac{m}{s}\right)}{\left(67.02 \frac{m}{s}\right)} + \left(4.85 \frac{m}{s}\right) = 1.91 \frac{m}{s}.$$

$$W_{1u} = U_{1e} - C_{1u} = \left(67.02 \frac{m}{s}\right) - \left(1.91 \frac{m}{s}\right) = 65.11 \frac{m}{s}.$$

$$\beta_{1e} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_m}{W_{1u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_m}{C_{1u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{9.95 \frac{m}{s}}{65.11 \frac{m}{s}} = 8.68^\circ.$$

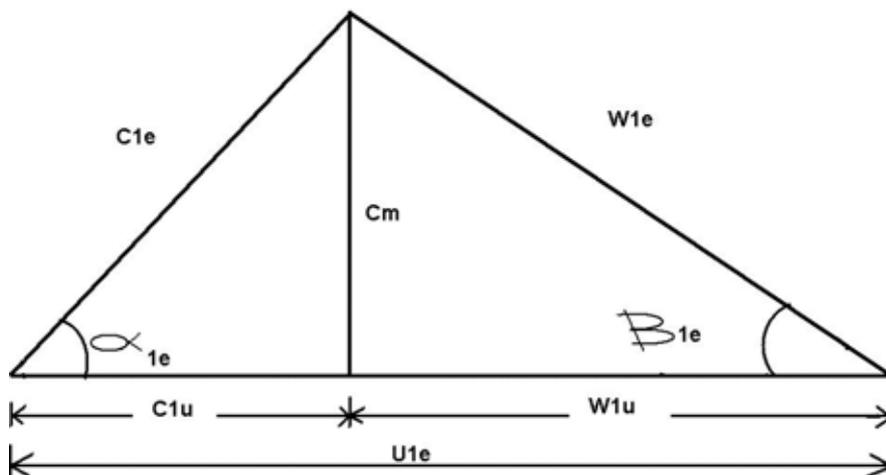


Figura 2.14 triángulo de entrada del punto exterior.

Del triángulo de salida (punto exterior).

$$W_{2u} = U_{2e} - C_{2u} = \left(67.02 \frac{m}{s}\right) - \left(4.85 \frac{m}{s}\right) = 62.17 \frac{m}{s}.$$

$$\beta_{2e} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_m}{W_{2u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_m}{W_{2u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{9.95 \frac{m}{s}}{62.17 \frac{m}{s}} = 9.09^\circ.$$

$$\alpha_e = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_m}{C_{2u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{9.95 \frac{m}{s}}{4.85 \frac{m}{s}} = 64.01^\circ.$$

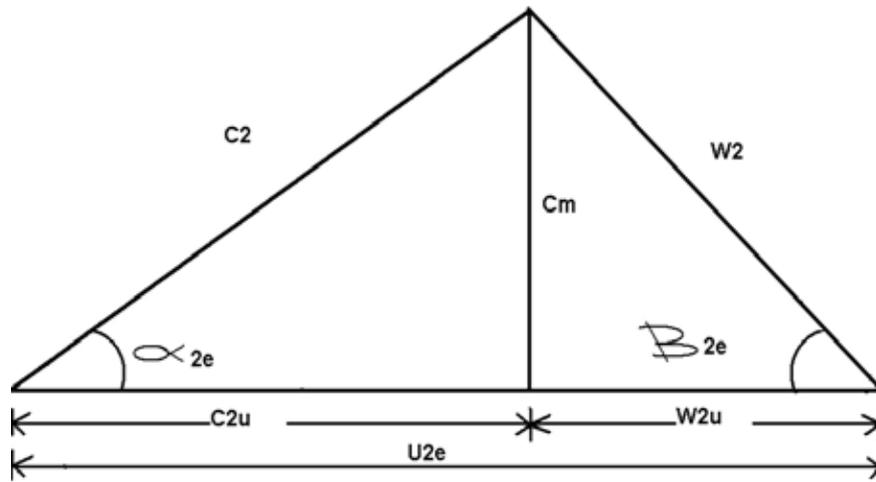


Figura 2.15 triángulo de salida del punto exterior.

Del triángulo de entrada (punto interior).

$$H_E = \frac{C_{2u}U_n - C_{1u}U_n}{g} = \frac{[C_{2u} - C_{1u}]U_n}{g}.$$

$$C_{1u} = -\frac{gH_E}{U_n} + C_{2u} = -\frac{\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)\left(20.05 \frac{m}{s}\right)}{\left(13.96 \frac{m}{s}\right)} + \left(4.85 \frac{m}{s}\right) = -9.23 \frac{m}{s}.$$

$$W_{1u} = U_{1n} - C_{1u} = \left(13.96 \frac{m}{s}\right) - \left(-9.23 \frac{m}{s}\right) = 23.19 \frac{m}{s}.$$

$$\beta_{1n} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_m}{W_{1u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_m}{W_{1u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{9.95 \frac{m}{s}}{23.19 \frac{m}{s}} = 23.22^\circ.$$

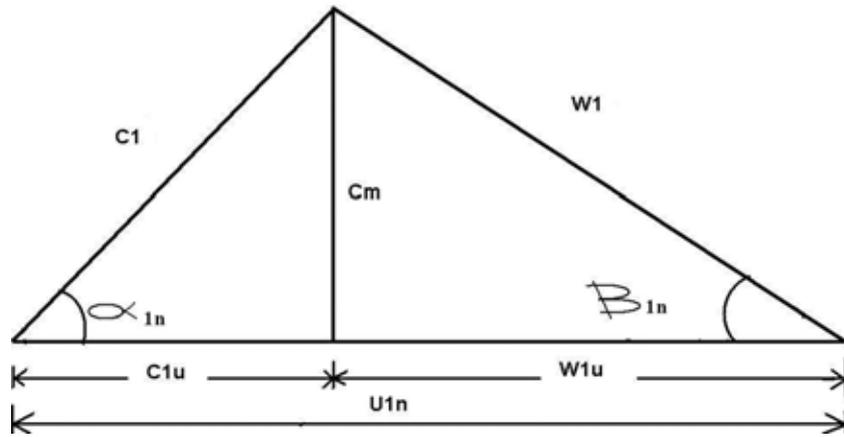


Figura 2.16 triángulo de entrada del punto interior.

Del triángulo de salida (punto interior).

$$W_{2u} = U_{2n} - C_{2u} = \left(13.96 \frac{m}{s}\right) - \left(4.85 \frac{m}{s}\right) = 18.81 \frac{m}{s}.$$

$$\beta_{2n} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_m}{W_{2u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_m}{W_{2u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{9.95 \frac{m}{s}}{18.81 \frac{m}{s}} = 27.87^\circ.$$

$$\alpha_n = \operatorname{tg}^{-1} \frac{C_m}{C_{2u}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{9.95 \frac{m}{s}}{4.85 \frac{m}{s}} = 64.01^\circ.$$

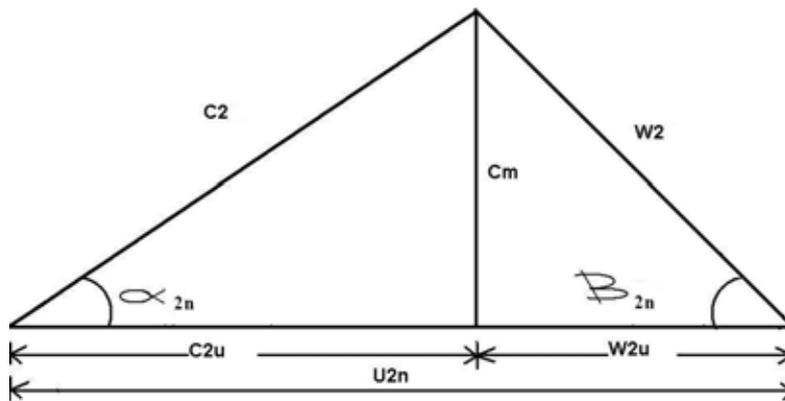


Figura 2.17 triángulo de salida del punto interior.

Ahora se procederá a realizar el trazo del alabe en 3D, con ayuda de los triángulos de entrada y salida que se obtuvieron en el calculo anterior.



Figura 2.18 alabe en 3D.

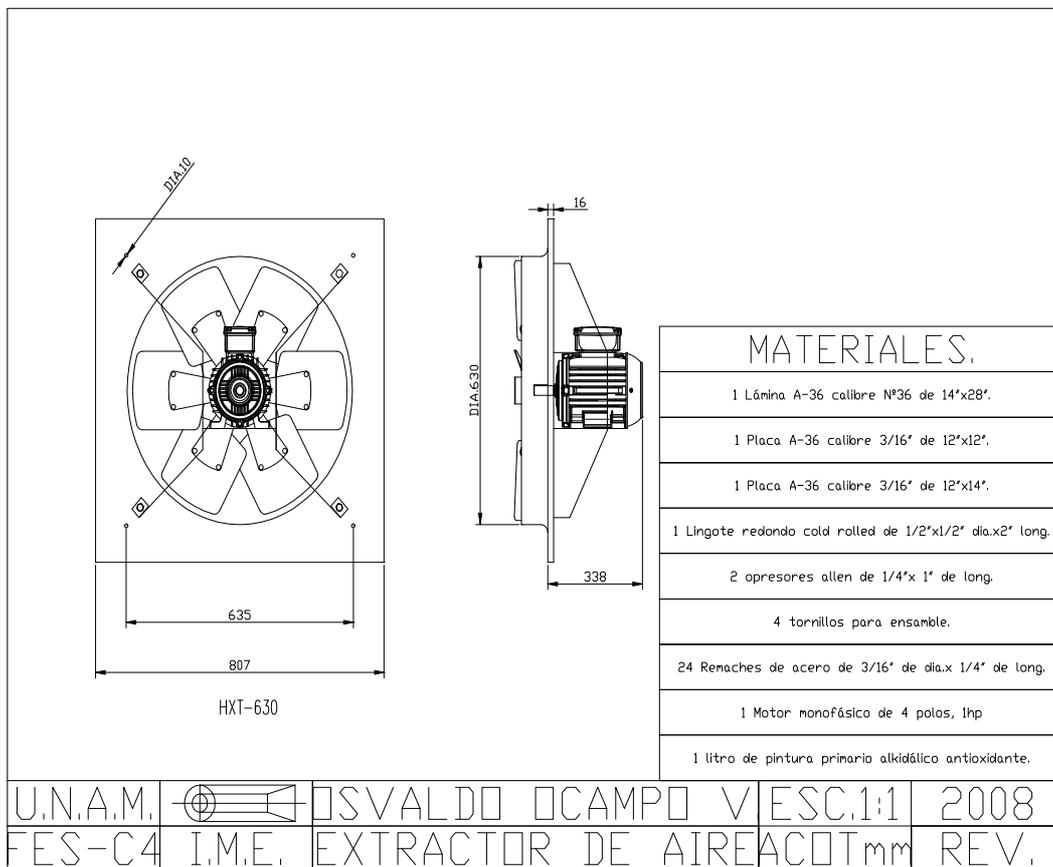


Figura 2.19 vista frontal y lateral del extractor de aire.

2.9 Sistemas de ventilación.

Para una ventilación es indispensable el uso de ventiladores. Se aplican a la mayoría de edificios industriales y comerciales, especialmente donde hay un número de ocupantes o maquinaria, donde se debe eliminar el calor, la contaminación, los olores, etc. La ventilación natural no siempre es satisfactoria y regularmente requiere de ayuda; aun cuando las condiciones atmosféricas naturales son ideales se requiere forzar de manera mecánica dicho fluido.

Una alimentación natural depende del viento y la diferencia entre la temperatura exterior e interior. El aire no fluirá hacia el interior a menos que una brisa sople en dirección correcta y también varía continuamente los cambios de dirección del viento, además no puede haber un control efectivo del polvo u olores en el aire que entra.

La aireación, mediante ventiladores, es necesaria y se pueden emplear tres procesos diferentes.

- Extracción de aire.
- Suministro de aire (aire inyectado).
- Una combinación de extracción e inyección.

El sistema más indicado para un edificio vendrá generalmente determinado por sus dimensiones, forma del espacio y por la medida en que deba controlarse el polvo, los olores y la temperatura.

2.10 Sistemas de extracción.

Este método es probablemente, el más empleado; consiste en disponer a lo largo del local, o en lugares estratégicos, una serie de ventiladores extractores pudiéndose poner también en el techo del local a ventilar.

La misión de los ventiladores consiste en aspirar el aire interior y expulsarlo fuera, esto sucede porque en los alrededores de la boca del ventilador se origina una depresión, la cual atrae el aire del habitáculo que esta viciado y lo arrastra al interior del extractor desde donde son arrojados hacia fuera del edificio.

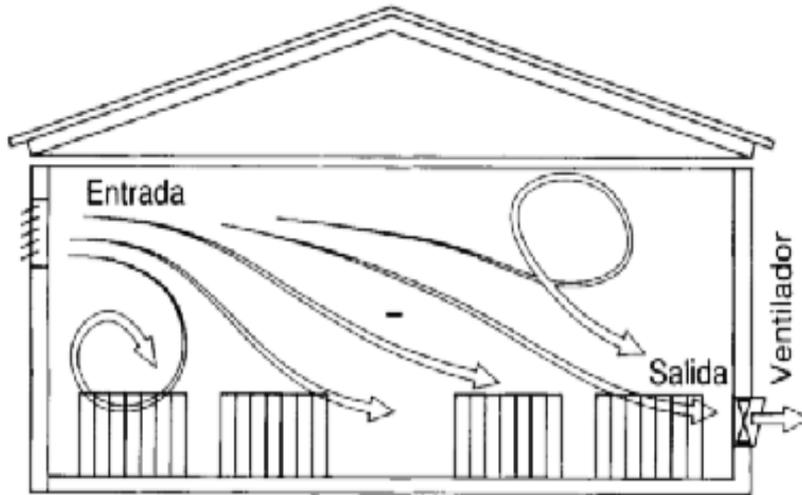


Figura 2.20 sistema de extracción.

2.11 Sistemas de inyección ó impulsión.

El método de inyección o impulsión, como su nombre indica los ventiladores recogen el aire exterior limpio y lo empuja hacia el interior del recinto, creando una sobrepresión dentro que obliga al aire a salir por las aberturas previstas para tal fin.

A su vez la sobrepresión impide que penetre aire del exterior por sitios que no están dentro del sistema.

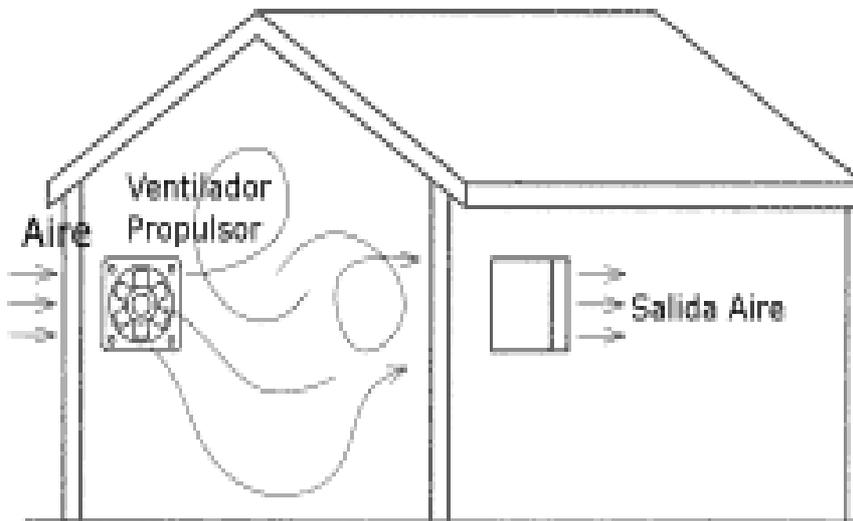


Figura. 2.21 sistema de inyección.

2.12 Sistemas de extracción e inyección.

Un completo control de ventilación se logra usando a la vez ventiladores de extracción e impulsión. Una distribución de aire a temperatura ambiente es así asegurada. El aire puede introducirse en el lugar preciso y su distribución vendrá determinada por un flujo entre las aberturas de alimentación y las de expulsión.

En virtud de que se usan ventiladores para impulsar el aire limpio y para extraer el aire viciado, lo que lleva a considerar todas las variables posibles, por un lado tendremos depresión (extractores) y, por otro, sobrepresión (impulsores) siendo conveniente que los impulsores den mas aire, que el desalojado por los extractores para que dentro del recinto exista una sobrepresión y el sistema funciones correctamente.

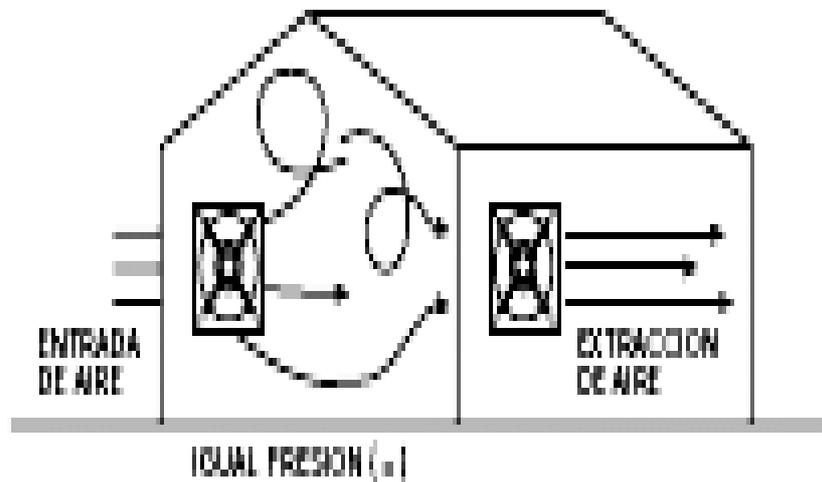


figura.2.22 sistema de extracción e inyección.

2.13 Ventilación natural.

La ventilación natural es la que emplea la fuerza del viento y las diferencias de temperatura para lograr el movimiento del aire, pudiendo establecerse como principios básicos de la ventilación natural los siguientes:

- Diferencia de altura.
- Diferencias de temperaturas exterior e interior.
- Diferencia de presión.
- Acción del viento.
- Carga térmica. (temperatura generada en el interior del local a ventilar)

Para la ventilación de grandes naves de tipo industrial, suelen utilizarse varias unidades de sistema de ventilación natural.

Los extractores atmosféricos (ventilador tipo cebolla) son aparatos estáticos que actúan por mediación de la depresión del aire y por el roce del viento exterior al pasar por sus toberas.



Figura 2.23 extractor atmosférico.

***Nota Importante:** este tipo de extractores **NO** se recomiendan; ya que, se requieren condiciones naturales y físicas, para que estos equipos trabajen al 100% de su capacidad; y aún así, el volumen de aire que manejan es insuficiente. Por lo que se recomienda utilizar equipos motorizados.

2.14 Ventilación mecánica.

Cuando la ventilación natural no puede llevarse a cabo o es insuficiente, hay que recurrir a la ventilación por medios mecánicos para conseguir la necesaria renovación del volumen de aire que se concentra en el interior de un recinto cerrado.

La ventilación por medios mecánicos suele efectuarse por intermedio de ventiladores y extractores de aire que pueden montarse de manera individual en el lugar elegido o bien emplear una instalación colectiva.

Una de las formas más comunes de ventilación individual es la que se efectúa en las cocinas por medio de campanas extractoras de humo, situándola lo más cerca posible de los fogones.



Figura 2.24 ventilación mecánica.

2.15 Ventiladores.

Dentro de la ventilación mecánica hay que considerar al elemento principal que da origen al nombre: el ventilador de accionamiento mecánico.

Pero ¿qué son y para que sirven?

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

Los ventiladores pueden dividirse en dos grupos: ventiladores axiales o helicoidales y ventiladores radiales o centrífugos. Los primeros lanzan el aire en dirección axial, manteniendo la misma dirección del flujo de aire en la succión y en la descarga y, en los segundos, la corriente de aire se establece axialmente en la succión del equipo y a través del rodete la expulsa de manera radial. Van accionados por medio de un motor eléctrico y la transmisión puede ser directa o por medio de poleas y bandas.

A su vez los ventiladores se componen de:

- Elemento rotativo (rotor).
- Soporte (carcasa y base).
- Motor (sistema de transmisión).

El elemento rotativo es la pieza del ventilador que gira en torno al eje del mismo puede ser una hélice o un rodete.

Le llamaremos hélice si la dirección de salida del aire impulsado es paralela al eje del ventilador (dirección axial). Generalmente la hélice puede mover gran cantidad de aire comunicando al mismo una discreta ó poca presión. Para ventiladores axiales

Le llamaremos rodete ó rotor si la dirección de salida del aire impulsado es perpendicular al eje del ventilador. Generalmente los rodetes mueven un volumen de aire menor que las hélices, pero con una presión mucho mayor. Para ventiladores centrífugos.

El soporte es el componente estructural del ventilador. Su forma canaliza ó dirige la circulación del aire.

En los ventiladores de hélice, el soporte acostumbra a componerse también de una embocadura acampanada que mejora el rendimiento (le da dirección y mas velocidad al aire).

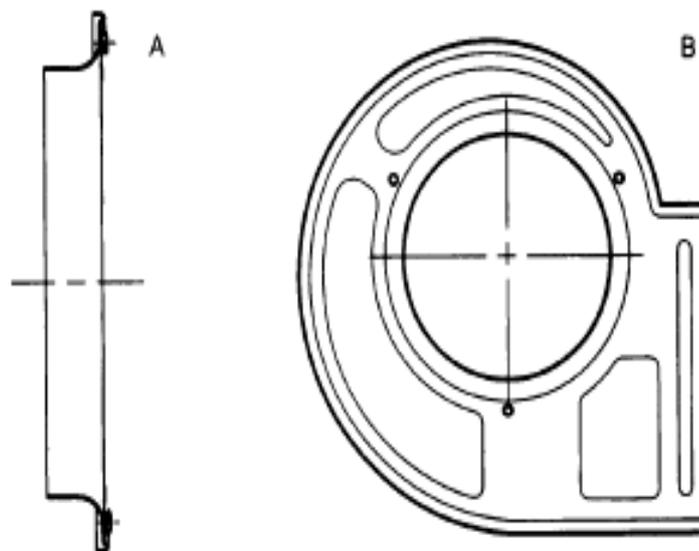


Figura 2.25 a) soporte b) voluta.

El motor es el componente que acciona la hélice o el rodete.

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

2.16 Tipos de ventiladores.

En el mercado podemos encontrar una amplia gama de ventiladores que satisfagan las necesidades industriales y domésticas.

Desde los ventiladores comunes pasando por los especiales para conducir gases o productos con propiedades peculiares, hasta ventiladores diseñados especialmente para cumplir con determinados requisitos. El abanico de posibilidades es tan extenso que nos limitaremos a los de uso más común.

2.17 Ventiladores axiales.

En los ventiladores axiales el flujo o corriente es esencialmente paralelo al eje de giro de la hélice y son esencialmente apropiados para la impulsión o la extracción de grandes volúmenes de aire a baja presión.

Los ventiladores de hélice son los más utilizados para ventilación de locales e instalaciones similares ya que ofrecen claras ventajas sobre los centrífugos. Entre las que podemos encontrar una mayor simplicidad en su montaje, así como la posibilidad de instalarlo como inyector ó extractor.

2.18 Ventiladores centrífugos.

El ventilador centrífugo consiste esencialmente en una rueda provista de una serie de alabes ó aspas, denominada turbina ó rotor que gira dentro del interior de una envolvente con figura de espiral llamada voluta, y esta tiene dos bocas, una de succión situada en el eje de la turbina y otra de descarga abierta tangencialmente con relación al rodete, siendo recomendados para mover caudales pequeños pero a elevada presión.

Por la acción de la fuerza centrífuga causada por la rotación de la turbina, el fluido acarreado por los alabes es despedido hacia la periferia, donde lo recoge la voluta, en forma gradual, y lo conduce al orificio de salida.

2.19 Clasificación de los ventiladores.

Los ventiladores, denominados así en una forma amplia para todas sus concepciones pueden clasificarse de formas muy diferentes, siendo la más común la siguiente:

SEGÚN SU FUNCIÓN:

Ventiladores con envolvente. Suele tener una carcaza tubular por lo que también se les denomina tubulares y tienen por objeto desplazar aire dentro de un conducto.

Impulsores. Son los ventiladores en los que la boca de aspiración (la succión) está conectada directamente a un espacio libre, estando la boca de descarga conectada a un conducto. Se recomienda en este caso trabajar estos ventiladores con mallas de protección en la brida de succión.



Figura 2.26 impulsores.

Extractores. Son los ventiladores en los que la boca de aspiración (la succión) está conectada a un conducto y la boca de descarga está conectada a un espacio libre.



Figura 2.27 extractor.

Impulsores-extractores. Son los ventiladores en los que tanto la boca de aspiración (la succión) como la descarga están conectados a un conducto.



Figura 2.28 impulsores extractores.

Ventiladores murales. Conocidos también como extractores, sirven para el traslado de aire entre dos espacios distintos. De una cara de pared a otra ó a la intemperie.

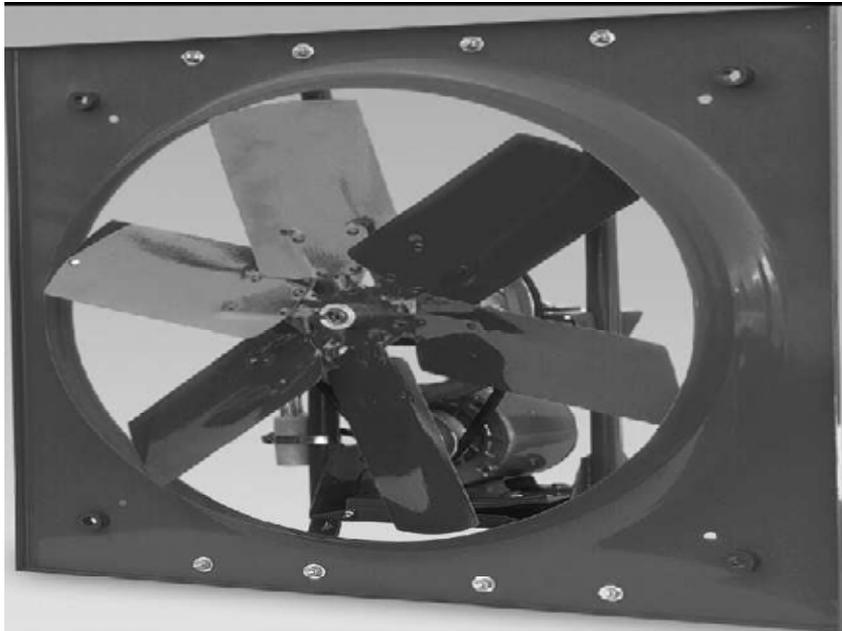


Figura 2.29 extractor mural.

Ventiladores de chorro. Son aparatos que se utilizan cuando se necesita una determinada velocidad de aire incidiendo sobre una persona o máquina.



Figura 2.30 ventilador de chorro.

Ventiladores centrífugos. Son los ventiladores en los cuales el aire entra en la boca del rodete en una trayectoria esencialmente axial y sale en una dirección sensiblemente paralela a un plano radial.

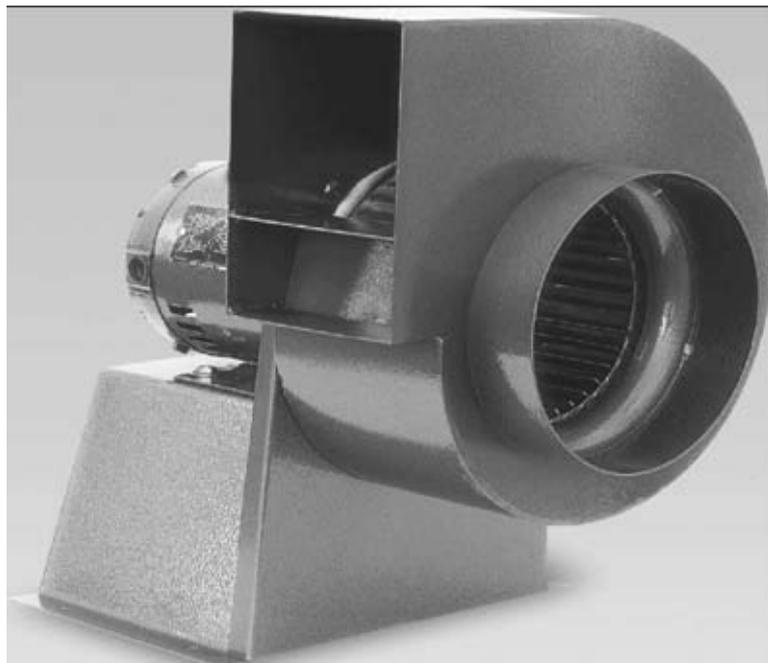


Figura 2.31 ventilador centrífugo.

Los rodetes de los ventiladores centrífugos pueden ser de tres tipos.

- Alabes radiales.
- Alabes hacia delante.
- Alabes hacia atrás.

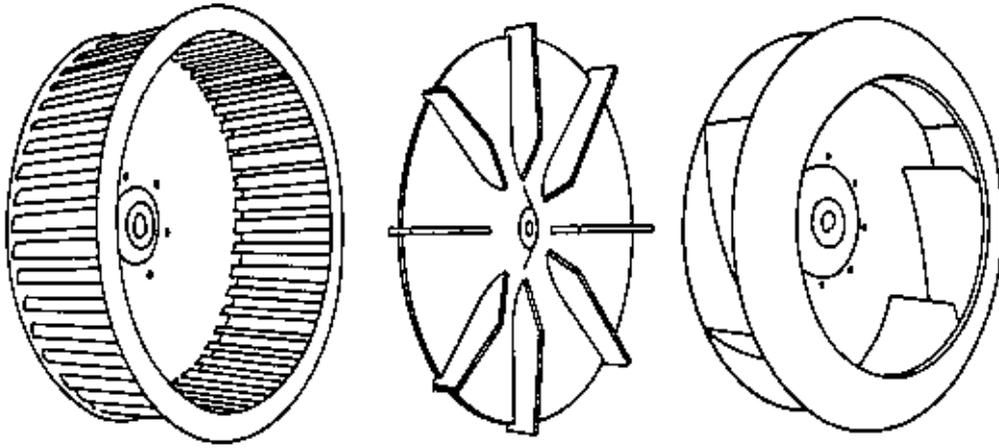


Figura 2.32 Rotores centrífugos de alabes curvados hacia delante, radiales y atrás.

Ventiladores axiales. Son los ventiladores en los cuales el aire entra y sale de la hélice con trayectorias a lo largo de superficies cilíndricas coaxiales al ventilador. Las hélices de los ventiladores axiales pueden ser de dos tipos:

- Perfil delgado figura 2.33
- Perfil sustentador figura 2.34

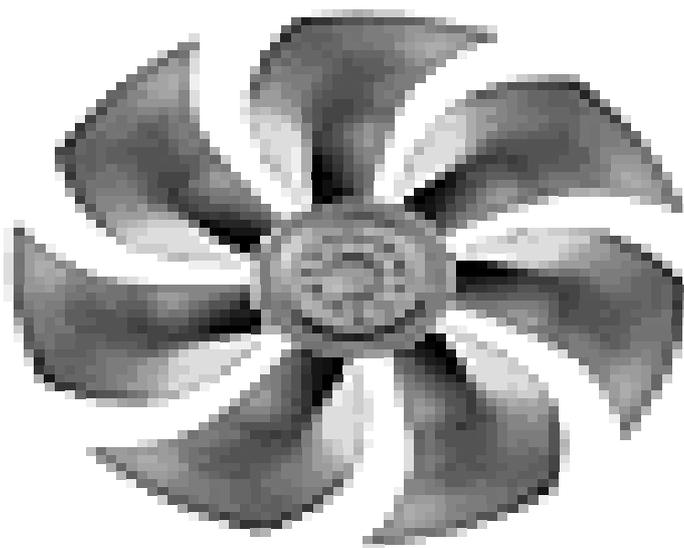


Figura 2.33 perfil delgado



Figura 2.34 perfil sustentador.

Ventiladores de baja presión. Son los ventiladores que manejan una presión inferior a 72 mm. c. d. a. (estos ventiladores tienen turbinas o rotores del tipo jaula de ardilla).



Figura 2.35 ventilador centrífugo de baja presión.

Ventiladores de mediana presión. Son los ventiladores que manejan una presión comprendida entre los 72 y 360 mm. c. d. a.(con motor para 4 polos).

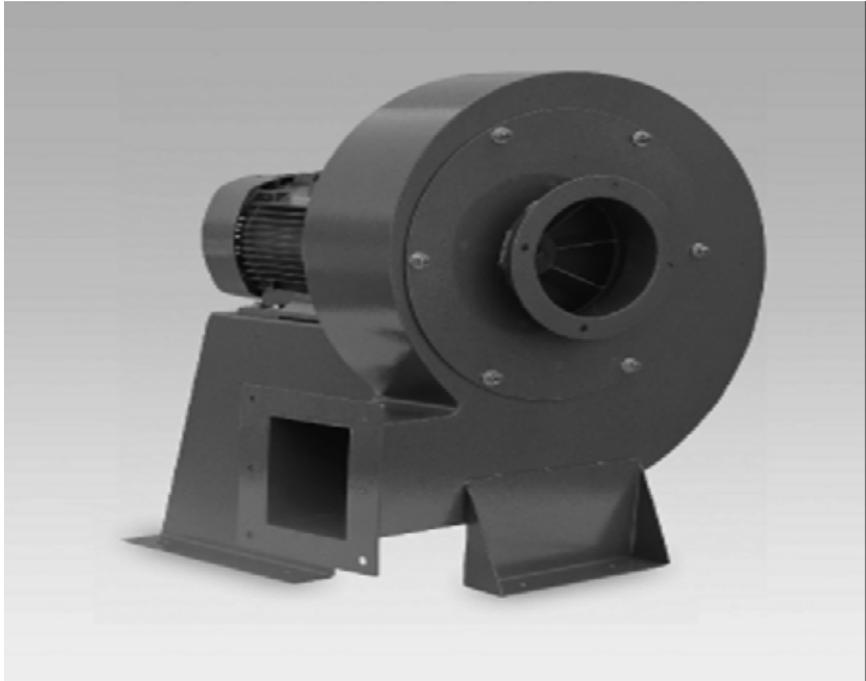


Figura 2.36 ventilador centrífugo de media presión.

Ventiladores de alta presión. Son los ventiladores que manejan una presión superior a 360 mm. c. d. a. También conocidos como turboventiladores(con motor de 2 polos).

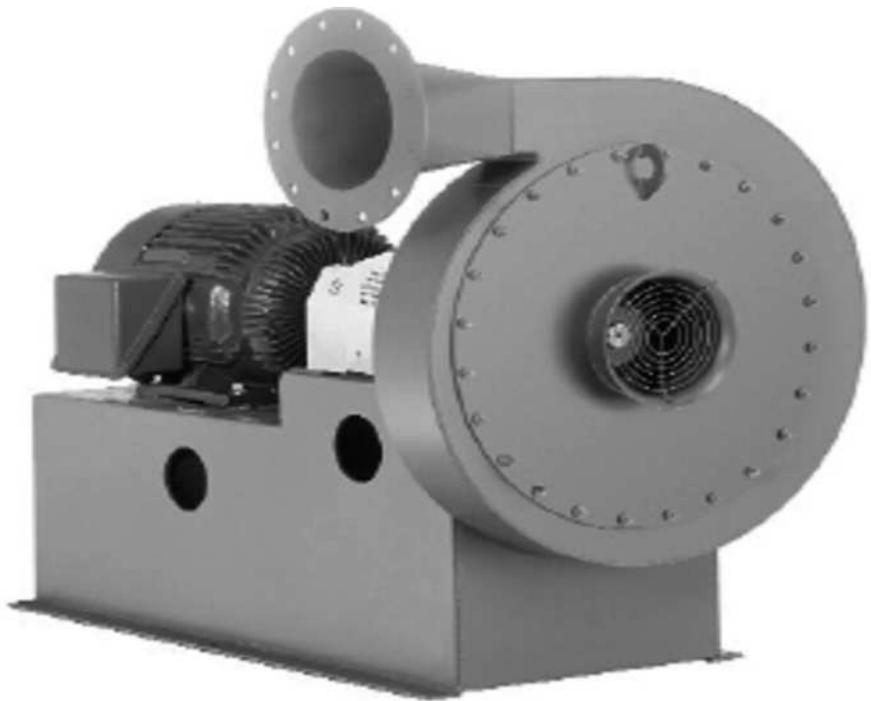


Figura 2.37 ventilador centrífugo de alta presión.

2.20 Ventiladores radiales industriales entrada sencilla.

Arreglo 4: ventilador acoplado directamente al motor. El rotor se encuentra montado en la flecha del motor, siendo este, el arreglo más compacto para el conjunto ventilador-motor.

Máxima temperatura del aire a manejar 80° C.

La potencia máxima depende de la capacidad de carga de los baleros del motor especificado.

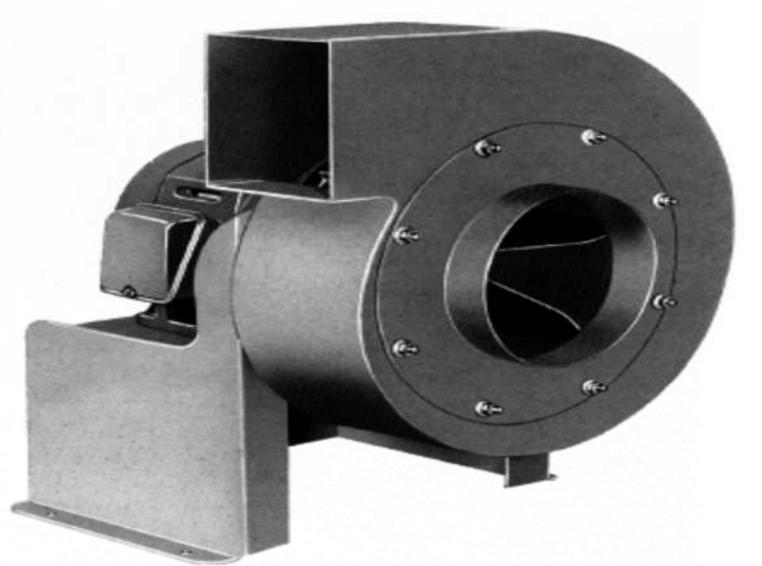


Figura 2.38 ventilador centrífugo arreglo 4.

Arreglo 1: este arreglo se identifica por el costo; porque el suministro del equipo es austero siendo que el cliente final acopla la transmisión y el tipo de base adecuado para sus condiciones.

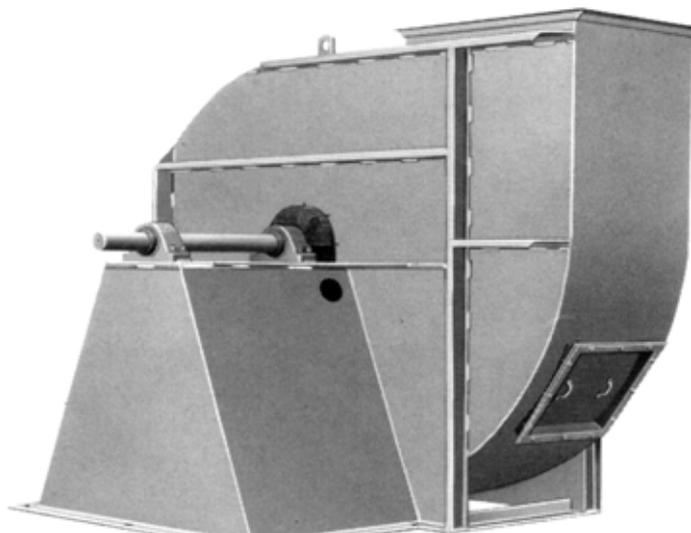


Figura 2.39 ventilador centrífugo arreglo1.

Arreglo 8: el motor esta acoplado directamente al ventilador a través de cople flexible.



Figura 2.40 ventilador centrífugo arreglo 8.

2.21 Ventiladores radiales industriales entrada doble.

Arreglo 3ED: ventilador entrada doble succionando libremente del área de localización, la transmisión es por medio de poleas y bandas.

Cuenta con base integral en donde el motor es montado por separado sobre rieles de ajuste para la transmisión.

Su diseño permite la instalación de bases antivibratorias.



figura 2.41 ventilador centrífugo arreglo 3 (entrada doble).

2.22 Posiciones de descarga y sentido de giro.

En la figura 2.42 se presentan las posiciones de descarga y sentido de giro de los ventiladores centrífugos.

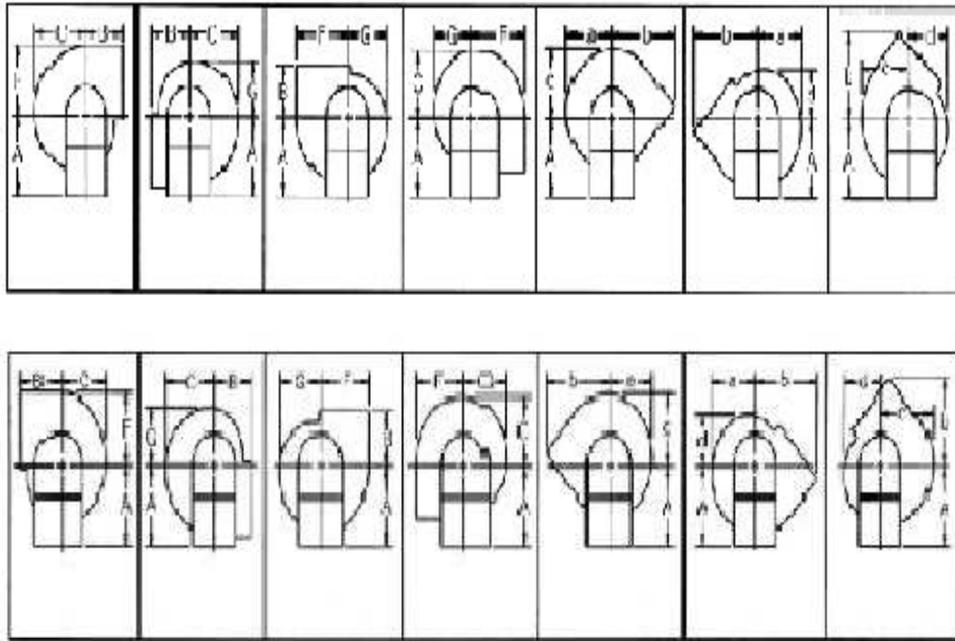


Figura 2.42 posiciones de descarga y sentido de giro de los ventiladores centrífugos.

CAPITULO 3.
COSTOS.

CAPITULO 3.

COSTOS.

3.1 Materiales.

Los materiales a utilizar en el proyecto de fabricación del extractor de aire se enumeraran a continuación:

ROTOR O ASPA:

- Tejo o cubo: redondo (cold rolled) de $\frac{1}{2}$ " \varnothing x 2" de longitud.
- Aspa : lámina A-36 calibre # 36 de 14 " de ancho x 28" de longitud.
- Soporte de aspas: placa A-36 calibre $\frac{3}{16}$ " de 12" x 12".

PANEL O CARCASA Y SOPORTE DE MOTOR:

- Panel: lámina A-36 calibre $\frac{1}{16}$ " de 22"x22".
- Soporte de motor: placa A-36 calibre $\frac{3}{16}$ " de 12" x 14".
- Motor: monofásico armazón 56, 110 volts, con flecha de $\frac{5}{8}$ de \varnothing , 4 polos (1750 rpm)
- Tornillería para ensamble: tornillería de $\frac{5}{16}$ " x $1\frac{1}{2}$ " con doble rondana plana, rondana de presión y tuerca.

LISTA DE MATERIALES Y COSTOS.

CANTIDAD.	UNIDAD.	DESCRIPCIÓN.	COSTO.	MANO DE OBRA	COSTO.
1	Pza.	Lámina A-36 calibre # 36 de 14" de ancho x 28" de longitud.	\$280.00	Fabricación de aspas Corte de lamina, troquelado y barrenado	\$200.00
1	Pza..	placa A-36 calibre $\frac{3}{16}$ " de 12" x 12".	\$200.00	Fabricación de soporte de aspas: Corte y formado	\$180.00
1	Pza.	Motor monofásico 4 polos 1 hp.	\$800.00	Ensamble	\$100.00
1	Pza.	placa A-36 calibre $\frac{3}{16}$ " de 12" x 14".	\$350.00	Fabricación de soporte para motor: Corte, formado y soldadura	\$250.00
1	Pza..	Lingote redondo cold rolled $\frac{1}{2}$ " ϕ $\frac{1}{2}$ " x 2 " longitud.	\$55.00	Fabricación del cubo para el rotor: Maquinado	\$55.00
2	Pzas.	Opresores allen $\frac{1}{4}$ " x 1" longitud.	\$5.00	Para sujeción del rotor a la flecha	
4	Pzas..	Tornillería para ensamble.	\$20.00	Para ensamble. Del motor a la base	
24	Pzas.	Remaches de acero de $\frac{3}{16}$ " ϕ x $\frac{1}{4}$ " longitud	\$10.00	Para ensamble de aspas a soporte de rotor	
1	Litro	Pintura primario alquídico antioxidante.	\$30.00	Para pintura del equipo	\$30.00
			\$1750.00		\$815.00
			Costo total: \$2565.00		

3.2 Proceso de fabricación y ensamble.

En la fabricación y ensamble se utiliza los siguientes pasos .

- Tejo o cubo:
 1. Se maquina el redondo (cold rolled) A-36 de $\frac{1}{2}$ " \varnothing x 2 " de longitud.
 2. Se barrena a $\frac{5}{8}$ " y se hace un cuñero de $\frac{3}{16}$ " y dos barrenos , machueleados a $\frac{1}{4}$ ".



Figura 3.1 proceso de maquinado del cubo.

- Aspas:
 1. Se hace el trazo de las aspas en la lámina.
 2. Se realiza el corte del trazo.
 3. Se le hace un barrenado a las aspas.
 4. Se troquelan las aspas.

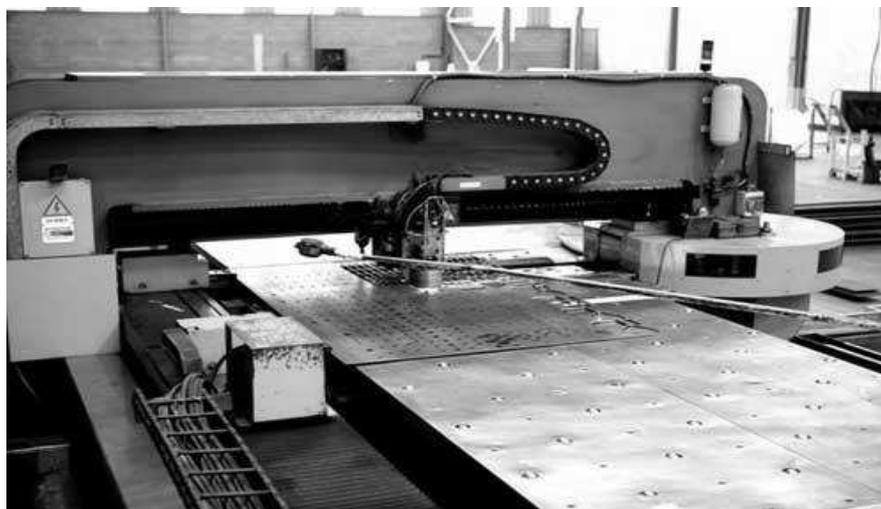


Figura 3.2 proceso de corte con plasma.

- Soporte de aspas.
 1. Se traza el soporte en la lámina.
 2. Se realiza el corte del trazo.
 3. Se le hace un barrenado al soporte.



Figura 3.3 proceso de barrenado.

- Panel:
 1. Se hace el trazo del panel en la lámina.
 2. Se realiza el corte del trazo.
 3. Se procede hacer el dobléz de la lámina.

Por último se hace el formado del panel mediante soldadura.



Figura 3.4 proceso de rolado.



Figura 3.5 proceso de soldadura.

3.3 Arranque de equipo ensamblado.

Puntos a inspeccionar

- Checar el amperaje que toma el motor y comparar con el dato de placa.
- Verificar si no hay ruidos que pudieran ser extraños (rozamiento de aspa contra panel, y/o ruido en rodamientos del motor).
- Por ultimo hacer un análisis de vibraciones y si lo requiere un balanceo dinámico.

NOTA: en caso de presentarse alguna falla se deberá hacer las correcciones pertinentes.

CAPITULO 4.
MANTENIMIENTO.

CAPITULO 4.

MANTENIMIENTO.

4.1 Vibraciones mecánicas.

El estudio de las vibraciones mecánicas es una rama de la mecánica, y por lo tanto de la ciencia, que estudia los movimientos oscilatorios de los cuerpos, sistemas y de las fuerzas asociadas. El interés de las vibraciones mecánicas llega al Mantenimiento Industrial, de la mano del mantenimiento preventivo, con el interés de alertar la necesaria prevención de las fallas que traen las vibraciones.

No existe una definición bien exacta de **VIBRACION**; más sin embargo, se pueden considerar como vibraciones, las variaciones periódicas temporales de diferentes magnitudes.

Específicamente, una vibración mecánica es el movimiento de un cuerpo que oscila alrededor de una posición de equilibrio.

Al intervalo de tiempo necesario para que el sistema efectúe un ciclo completo de movimiento se le llama **PERIODO** de la vibración. El número de ciclos por unidad de tiempo define la **FRECUENCIA** del movimiento y el desplazamiento máximo del sistema desde su posición de equilibrio se llama **AMPLITUD** de la vibración.

4.2 Causas de las vibraciones mecánicas.

Son muchas, pero básicamente las vibraciones se encuentran estrechamente relacionadas con tolerancias de mecanización, desajustes, movimientos relativos entre superficies en contacto, desbalances de piezas en rotación u oscilación, etc.; es decir, todo el campo de la técnica.

Los fenómenos anteriormente mencionados producen casi siempre un desplazamiento del sistema desde su posición de equilibrio estable originando una vibración mecánica.

4.3 El mantenimiento y las vibraciones

El interés principal para el Mantenimiento deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de las vibraciones detectadas en el elemento ó máquina, la determinación de las causas de la vibración, y la corrección del problema que ellas representan. Las consecuencias de las vibraciones mecánicas, son el aumento de los

esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral.

4.4 Diferentes tipos de vibraciones mecánicas.

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una máquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de la vibración, reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias. De manera que, al estudiar los datos, el interés principal deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de la vibración, la determinación de las causas, y la corrección del problema que ellas representan.

A continuación se demostrarán las diferentes causas de vibración y sus consecuencias, lo cual nos ayudara de manera real y eficiente, para la interpretación de los datos que se obtengan, precisando así, el tipo de vibración que se presenta y buscar eficientemente la debida corrección de las mismas.

4.5 Vibración debida a desbalance.

El desbalance de la maquinaria es unas de las causas más comunes de la vibración; en muchos casos, los datos obtenidos por un estado natural de desbalance indican lo siguiente:

- ◆ La frecuencia de vibración se manifiesta a 1X de la rpm, de la máquina inspeccionada
- ◆ La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalance
- ◆ La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de las lecturas radiales: horizontales o verticales (en máquinas con ejes horizontales)
- ◆ El análisis de fase indica lecturas de fase estables.

4.6 Vibración debida a falta de alineamiento.

En la mayoría de los casos los datos obtenidos de una condición de falta de alineamiento, indican lo siguiente:

- ◆ La frecuencia de vibración se manifiesta a 3X de la rpm en los casos de una grave falta de alineamiento.
- ◆ La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineamiento.

- ♦ La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial.

NOTAS:

La falta de alineamiento, aún con acoplamientos flexibles, produce fuerzas tanto radiales como axiales que, a su vez, producen vibraciones radiales y axiales.

Uno de los indicios más claros e importantes de problemas debidos a falta de alineamiento y a ejes torcidos es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos, radial y axial. En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta; hay un buen motivo de sospechar la existencia de un problema de alineamiento ó eje torcido.

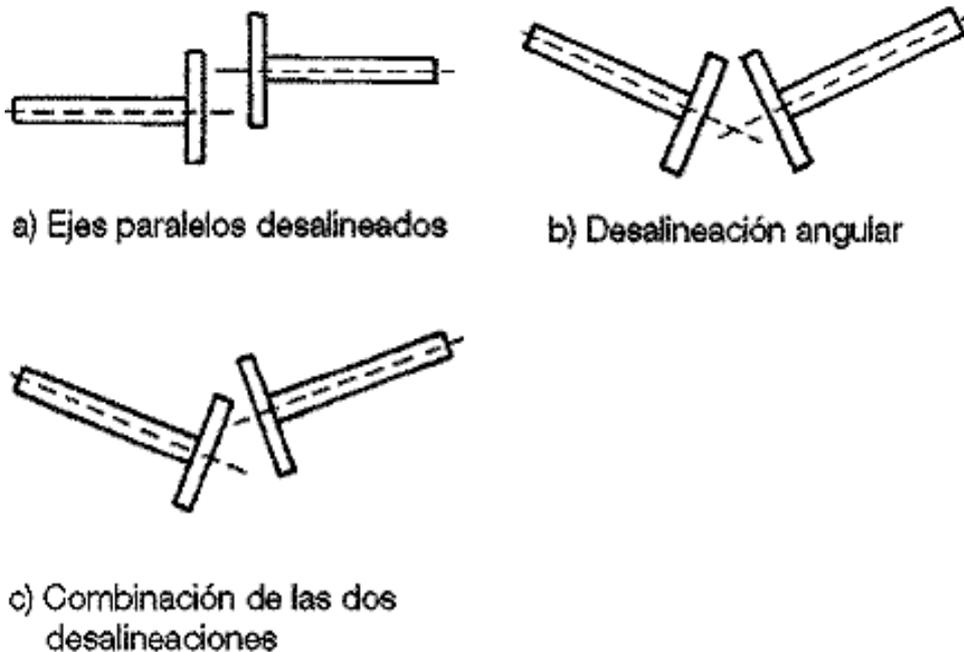


Figura 4.1 elementos sometidos a desalineación.

4.7 Vibración debida a excentricidad.

La excentricidad es otra de las causas comunes de vibración en la maquinaria rotativa. Excentricidad en este caso no significa “ovalización”, si no que la línea central del eje no es la misma que la línea central del rotor; el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica.

La excentricidad es en realidad una fuente común de desbalances, y se debe a un mayor peso de un lado del centro de rotación que del otro.

Una manera de diferenciar entre desbalance y excentricidad en alguna máquina rotatoria, es medir la vibración con el filtro afuera, mientras el equipo ó el motor estén

funcionando bajo corriente. Luego, se desconecta ó se apaga el motor, observando el cambio de la amplitud de vibración. Si la amplitud se reduce gradualmente mientras el motor siguen girando por inercia, es muy probable que el problema sea debido a desbalance; Si , en cambio, la amplitud de vibración desaparece en el momento mismo que el motor es desconectado ó apagado, el problema seguramente es de naturaleza eléctrica.

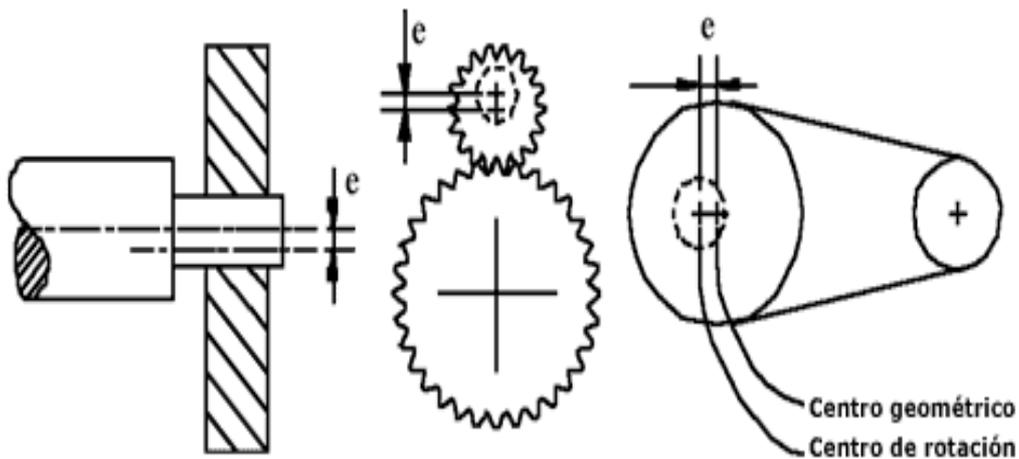


Figura 4.2 elementos sometidos a excentricidad.

4.8 Vibración debida a elementos rodantes defectuosos.

Defectos en las pistas, en las bolas o en los rodillos de rodamientos de elementos rodantes ocasionan vibración de alta frecuencia; y, lo que es más, la frecuencia no es necesariamente un múltiplo integral de la velocidad de rotación del eje. La amplitud de la vibración dependerá de la gravedad de la falla del rodamiento.

La vibración generada por el rodamiento normalmente no es transmitida a otros puntos de la máquina. Por lo tanto, el rodamiento defectuoso es generalmente el que se encuentra más cercano del punto donde ocurre el mayor nivel de vibración de este tipo.

Los rodamientos no fallan prematuramente a menos que alguna otra causa ó fuerza actúe sobre ellos; y tales fuerzas son generalmente las mismas que ocasionan vibración.

- ◆ Carga excesiva
- ◆ Falta de alineamiento
- ◆ Defectos de asientos del eje y/o de las perforaciones en el alojamiento
- ◆ Montaje defectuoso
- ◆ Ajuste incorrecto
- ◆ Lubricación inadecuada ó incorrecta
- ◆ Sellado deficiente

4.9 Vibración debida a rodamientos de chumaceras defectuosos.

Elevados niveles de vibración, ocasionados por rodamientos de chumaceras defectuosos, son generalmente el resultado de una holgura excesiva (causada por desgaste debido a una acción de barrido o por erosión química (oxidación), aflojamientos mecánicos ó problemas de lubricación.

4.10 Vibración debida a aflojamientos mecánicos.

El aflojamiento mecánico y la acción de golpeo resultante (golpeteo), producen vibración a una frecuencia que a menudo es $2X$ rpm's.

La vibración puede ser resultado de pernos de montaje (tornillería) sueltos, de holgura excesiva en los rodamientos, de fisuras en la estructura del equipo, cimentaciones frágiles ó; vibración proveniente de equipos ó maquinaria ubicados en las cercanías (siendo aún más problemático si se tienen varios equipos montados en una misma estructura y sin aislantes de vibración).

La vibración característica de un aflojamiento mecánico es generada por alguna otra fuerza de excitación, como un desbalance o una falta de alineamiento. Sin embargo, el aflojamiento mecánico empeora la situación, transformando cantidades relativamente pequeñas de desbalance ó falta de alineamiento en amplitudes de vibración excesivamente altas. Corresponde, por lo tanto, decir que el aflojamiento mecánico permite que se den mayores vibraciones de las que ocurrirían de por sí, derivadas de otros problemas.

4.11 Aislamiento de las vibraciones.

Cuando un ventilador (o cualquier otra pieza de una máquina esta en movimiento), la estructura del ventilador estará en estado de vibración, según la velocidad, diseño, mano de obra y mantenimiento. Si se permite que estas vibraciones de este ventilador se transmitan a la estructura o a las canalizaciones a el conectadas se comunicará el movimiento.

Existen otras fuentes como cojinetes de bolas o rodillos que molestan desde el punto de vista del ruido cuando giran a altas velocidades.

Hay que insistir en que los montajes antivibratorios no suprimen las vibraciones del ventilador, su función es evitar la vibración lo mas cerca posible del lugar que se produce.

4.12 Materiales usados para montajes antivibratorios.

Resortes de acero: poseen una elasticidad casi perfecta, trabajan sin perder propiedades en una amplia gama de temperaturas y no son generalmente afectados por el aceite y agua.



Figura 4.3 resortes de acero.

Neopreno: su elasticidad aparente proviene del hecho que se deforma al aplicarle una carga esto constituye una ventaja al para obtener la máxima deflexión al aplicarle una carga, por tanto es conveniente usar neopreno. Debido a sus propiedades particulares el neopreno es generalmente mas duro cuando vibra que en condiciones estáticas y este factor debe tenerse en cuenta cuando se elija un montaje.

Las principales desventajas del neopreno es su descomposición a temperaturas moderadas (65°C) y por la presencia de grasas y aceites.

No obstante su abundancia y coste razonable para montajes hacen atractivo su uso en equipos de mediana velocidad.

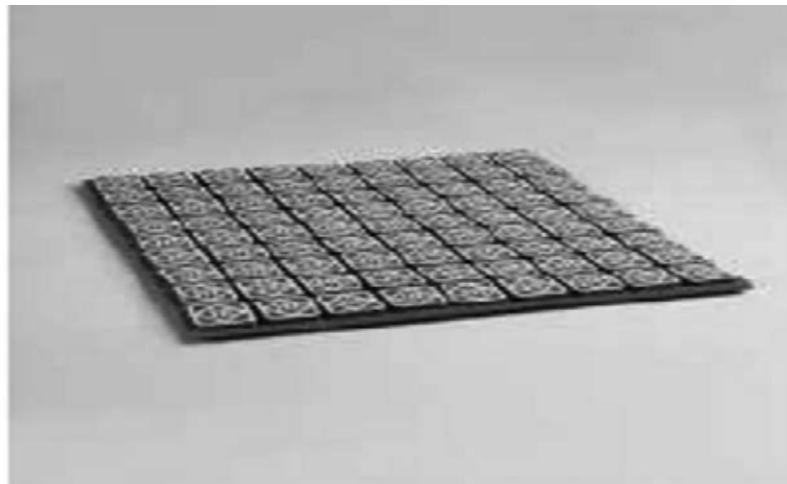


Figura 4.4 neopreno.

4.13 Procedimiento para el análisis de vibración y balanceo

MANUAL ESTANDARD DE INGENIERÍA.

TITULO: PROCEDIMIENTO PARA EL
ANALISIS DE VIBRACION Y BALANCEO
DINAMICO DE VENTILADORES Y MAQ.
ROTATORIAS.

PROCEDIMIENTO:

E1-BAL-1

PAGINA: 1 de 3

1.- PROPOSITO:

Definir el procedimiento y la instrucción (estándar) para realizar el análisis de Vibración y el balanceo dinámico a ventiladores instalados y funcionando en campo.

2.- ALCANCE:

Este procedimiento aplica a todo tipo de ventiladores y maquinas rotatorias (instalados y funcionando en campo).

3.- PROCEDIMIENTO:

3.1 Para todos los ventiladores y maquinas rotatorias a los que se les hace la prueba de análisis de vibración y balanceo dinámico, se requiere un analizador/ balanceador Portátil.



Figura 4.5 analizador/ balanceador portátil con aditamentos.

Este analizador / balanceador debe usar pick-ups (transductores de corriente) de velocidad sísmica con capacidad filtrante para mostrar la vibración en desplazamiento en milésimas de pulgada (mils) y/o en sensibilidad de velocidad pulgada por segundo.(in-s). El valor exacto de la sensibilidad depende de una conjugación del tamaño de la rueda y su velocidad de operación.



Figura 4.6 transductor de corriente.



Figura 4.7 lámpara estroboscópica.

3.2 (Independientemente del tamaño y tipo del ventilador) La vibración se detectará en las chumaceras y/o en el motor (con el analizador / balanceador portátil), y se registrarán las lecturas de los planos radiales (posición horizontal y vertical) y de los planos axiales.

3.3 Se realizará una inspección visual minuciosa en los ventiladores ó la maquinaria rotatoria (a ser balanceados), buscando cualquier indicio que afecte al funcionamiento del equipo a balancear. Se registrará dicha inspección en el reporte del balanceo, es importante indicar que este paso se aplica antes del primer arranque para realizar el análisis de vibración y balanceo dinámico.

3.4 En caso de requerir reparación o corrección alguna, se recomienda efectuarla antes de proseguir con el balanceo dinámico; si esto no es posible se efectuará el balanceo y se recomendara hacer dicha reparación ó corrección en un corto plazo. Se registrará dicha recomendación en el reporte de balanceo.

3.5 Se entregará un reporte de balanceo por cada equipo analizado y balanceado con las lecturas originales, lecturas finales, descripción del equipo (tamaño, rotación, descarga, tipo, etc.), identificación, zona ó departamento en donde está trabajando; este reporte se firmara por parte de la persona que realiza el análisis de vibración y balanceo, y por parte de la Empresa a quién se le realiza el Servicio, se entrega original a el técnico, mecánico o Ingeniero representante de la Empresa y una fotocopia es para la persona que realiza el Servicio.

MANUAL ESTÁNDAR DE INGENIERÍA.

TITULO: PROCEDIMIENTO PARA EL
ANALISIS DE VIBRACION Y BALANCEO
DINAMICO DE VENTILADORES Y MAQ.
ROTATORIAS.

PROCEDIMIENTO:
E1-BAL-1
PAGINA: 3 de 3

4.- CRITERIOS DE BALANCEO *(Para equipos nuevos)

Todos los Ventiladores y/o Maquinas Rotatorias se deben de balancear con el siguiente criterio. (Tomando las lecturas en las chumaceras y/o en el motor en los planos horizontal, vertical y axial. Estas lecturas deben ser o estar filtradas).

RPM DE OPERACION	LECT. EN VELOCIDAD (IPS)	LECT. EN DESPLAZAMIENTO (MILS)
0 @ 600	0.1	2.0
601 @900	0.1	1.5
901 @ 1200	0.1	1.0
1201 @ 1900	0.1	0.75
1900 @ <	0.1	0.5

Excepciones:

- Es aceptable cuando se toman las lecturas en desplazamiento, que el plano axial tenga hasta dos veces la vibración mostradas en las posiciones radiales (horizontal y vertical).
- Es aceptable cuando se toman las lecturas en velocidad, que el plano axial tenga una lectura de 0.15 pulgada por segundo(in/s) como máximo permisible.
- Para Ventiladores de flujo axial (arreglo 4)

Las lecturas serán tomadas en la envolvente ó carcaza cuando sea inaccesible llegar al motor ó a las chumaceras. Las lecturas se tomarán en desplazamiento y la lectura máxima permisible será de 1.2 (mils) independientemente de la velocidad de operación.

- Para equipos que trabajan con transmisión de poleas y bandas, y con bases inestables (flexibles).

La lectura máxima permisible en este caso en de 0.2 in / sec., en cualquiera de las posiciones (radiales ó axiales).

4.14 Procedimiento de balanceo dinámico en campo.

1. Antes de cualquier cosa se inspecciona el equipo de manera visual, tratando de encontrar detalles que podrían ocasionarle problemas al funcionamiento del mismo, como son: tornillería floja o falta de ella, fisuras en partes estáticas del equipo, desajustes o desalineaciones en ductería, inspección de cimentación etc.
2. En caso de tener que hacerle las correcciones se realizan.
3. Se checa alineación en acoplamientos directos, y en equipos de ensamble por medio de bandas y poleas, se retiran las bandas para poder ver si el equipo tiene un desbalance estático.
4. Se anotan los datos de placa de motor como son las revoluciones por minuto (RPM), la potencia (HP), número de polos del motor etc. Esto para poder identificar la velocidad de operación del equipo.
5. Una vez realizado lo anterior, se procede a conectar un analizador / balanceador portátil.
6. * Se coloca una marca en alguna parte dinámica del equipo como puede ser, en el cople, la flecha, enfriador del motor etc. Está marca es para guiarnos en el balanceo.
7. ** Se procede a darle funcionamiento al equipo en donde se van a tomar las lecturas en las chumaceras y en el motor en los planos horizontal, vertical y axial, estas lecturas (originales) se consideran las más importantes de todas porque son el punto de referencia para realizar el balanceo.
8. Teniendo las originales, se procede a parar el equipo y se le coloca un contrapeso de prueba / corrección, los cuales deben ser de algún material que se pueda remover de manera fácil y sencilla (tuercas con opresores ó grapas) y se colocan en cualquier posición del rotor.
9. Una vez colocada el contrapeso, se pone en funcionamiento al equipo con lo que se espera un desbalanceo del equipo y se vuelven a tomar las lecturas mencionadas en el punto 7, obteniendo las datos se para el equipo.
10. Teniendo ambas lecturas, se toma como referencia las lecturas más altas del primer arranque y se procede a corregir el ángulo de desbalance.
11. Ya corregido el ángulo de desbalance se coloca el contrapeso en la posición indicada y se pone en marcha el equipo y se vuelven a tomar las lecturas ya mencionadas que por lo regular serian las finales.

12. Si el equipo no queda dentro del límite máximo permisible se procede a realizar el paso anterior.
13. Una vez obtenidas las lecturas finales se procede a sustituir el contrapeso si es necesario.
14. Por último ya analizada y verificada la máquina, se le presenta al responsable del equipo, quien debe firmar de recibido y se le entrega una copia del reporte.

* Este punto se realiza si el balanceo se va hacer por medio de un analizador de vibraciones de tipo analítico.

** La forma de tomar las lecturas para con el analizador de vibraciones es la siguiente:

- Se sintoniza la velocidad de operación del equipo con una lámpara estroboscópica.
- Se detecta la vibración por medio de un transductor de corriente y se verifica la posición de la marca con la lámpara estroboscópica.

CONCLUSIONES.

Después del trabajo realizado se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- 1.- Con el trabajo anterior de ventilación, se pretendió proporcionar ayuda a quien desee acceder rápidamente al conocimiento de los principios básicos de esta tecnología.
- 2.- A su vez, también se dio a conocer, los instrumentos de medición de presión (micromanómetros) así como sus unidades.
- 3.- Por otro lado, en lo que algunas personas confunden el significado de aire acondicionado y ventilación, se analizó la diferencia que hay entre estos dos sistemas, ya que con el aire acondicionado es posible normalizar cualquier atmósfera, a las condiciones requeridas y con la ventilación lo que hacemos es el suministro o renovación de aire a temperatura ambiente.
- 4.- Es importante destacar los sistemas de ventilación que hay en la industria, así como los diferentes tipos de ventiladores, en los que se mostraron sus componentes y funcionamiento.
- 5.- En cuanto al diseño, realizamos un cálculo para poder determinar los m^3 del local, una vez obtenidos los m^3 , verificamos en la tabla de renovaciones de aire a la hora según el tipo de local a ventilar, a su vez esto nos arrojó el resultado de caudal a manejar. Con ayuda de las leyes de los ventiladores, se hizo el nuevo diseño en base a un ventilador ya fabricado, en donde analizamos varios datos como fueron: altitud, densidad del aire, caudal etc. En base a los datos del diseño original y por medio de las leyes de los ventiladores se logró realizar el nuevo diseño.
- 7.- Al realizarse el procedimiento de mantenimiento, se explico de manera sencilla los pasos a seguir, cuando se efectúa un análisis de vibración y balanceo dinámico a ventiladores en campo.

De manera personal, la realización de este trabajo, permitió tener un acercamiento con equipos que operan a nivel industrial. Así mismo conocer los diferentes sistemas de ventilación y ventiladores, que se encuentran en la industria.

En la parte del diseño me quedó con una gran satisfacción , ya que adquirí el conocimiento de cómo poder rediseñar un ventilador, con base a uno ya fabricado.

Fue una experiencia que completa una parte de los conocimientos que se adquieren en forma teórica a lo largo de la carrera de ingeniería mecánica eléctrica. Los procedimientos que fueron planteados en el presente trabajo , se dejarán como un antecedente para aquellas personas que quieran adentrarse en el tema de la ventilación.

APÉNDICE.

LATITUD N 19° 24' 13"
 LONGITUD W 99° 11' 46"
 ALTITUD 2309 msnm

PERIODO 1981-2000

 OBSERVATORIO SINOPTICO
 DEPENDENCIA: SMN-CNA

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA													
MAXIMA EXTREMA	27.6	29.3	33.3	33.0	33.9	33.5	29.6	28.3	28.5	28.0	27.9	28.0	33.9
PROMEDIO DE MAXIMA	21.7	23.4	25.7	26.8	26.8	25.3	23.8	23.9	23.3	22.9	22.9	21.9	24.0
MEDIA	14.6	15.9	18.1	19.6	20.0	19.4	18.2	18.3	18.0	17.1	16.3	15.0	17.5
PROMEDIO DE MINIMA	7.4	8.5	10.4	12.3	13.2	13.5	12.5	12.7	12.7	11.2	9.7	8.1	11.0
MINIMA EXTREMA	-0.4	1.5	-0.1	6.5	7.8	8.1	8.5	9.8	6.8	4.8	2.6	1.0	-0.4
OSCILACION	14.3	15.0	15.2	14.5	13.6	11.8	11.3	11.3	10.6	11.7	13.2	13.8	13.0
TOTAL HORAS INSOLACION	240	234	268	232	225	183	176	176	157	194	232	236	2555
HUMEDAD													
TEMPERATURA BULBO HUMEDO	8.0	8.5	9.4	10.6	11.9	13.0	12.8	13.0	12.8	11.5	9.9	8.7	10.8
HUMEDAD RELATIVA MEDIA	51	47	41	43	51	63	69	69	70	64	57	54	56
EVAPORACION	126	148	212	212	206	166	151	146	125	135	117	120	1864.4
PRECIPITACION													
TOTAL	7.6	7.0	8.9	22.5	66.5	140.0	189.5	171.2	139.8	72.4	12.6	8.2	846.1
MAXIMA	26.7	46.3	39.2	63.4	127.0	309.4	320.7	311.1	317.1	194.2	64.0	46.8	320.7
MAXIMA EN 24 HRS.	19.3	20.0	30.1	60.0	77.7	60.8	53.0	59.8	63.4	77.0	24.7	38.0	77.7
MAXIMA EN 1 HORA	9.7	5.0	5.5	4.2	13.8	25.5	17.6	33.1	21.0	32.9	12.3	7.8	33.1
PRESION													
MEDIA EN LA ESTACION	774.8	774.4	773.8	774.0	774.3	775.0	775.7	775.4	774.7	775.2	775.4	775.3	774.8
VIENTO MAXIMO DIARIO													
MAGNITUD MEDIA	7.2	8.0	8.7	8.6	9.0	7.6	7.8	8.1	7.5	7.7	6.5	6.2	7.7
FENOMENOS ESPECIALES													
LLUVIA APRECIABLE	2.2	2.5	4.1	6.8	12.9	18.7	23.2	20.9	18.2	9.6	3.8	2.0	124.8
DESPEJADOS	11.2	7.6	9.2	4.6	3.2	2.0	0.8	1.7	3.6	3.3	6.7	8.3	62.1
MEDIO NUBLADOS	15.6	16.7	18.2	18.4	19.1	9.5	8.5	8.2	5.9	12.2	17.1	16.1	165.4
NUBLADO/CERRADO	4.2	3.7	3.6	7.0	8.8	18.5	21.7	21.2	20.5	15.5	6.2	6.6	137.5
GRANIZO	0.4	0.1	0.0	0.1	0.4	0.1	0.4	0.7	0.4	0.1	0.0	0.1	2.8
HELADA	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
TORRENTA ELECTRICA	1.1	2.1	1.7	4.2	8.4	7.7	9.3	11.2	7.4	4.9	1.3	0.7	59.9
NIEBLA	2.6	1.8	1.0	1.6	4.4	6.9	7.5	3.4	6.3	5.1	2.4	3.0	46.0

UNIDADES: TEMPERATURA (°C), HUMEDAD RELATIVA (%), PRECIPITACION Y EVAPORACION (mm), PRESION (mb), VIENTO (m/s) Y FENOMENOS ESPECIALES (dias).

LATITUD N 19° 17' 28"
 LONGITUD W 99° 42' 51"
 ALTITUD 2720 msnm

PERIODO 1981-2000

 OBSERVATORIO SINOPTICO
 DEPENDENCIA: SMN-CNA

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA													
MAXIMA EXTREMA	23.8	26.1	29.6	29.9	29.9	29.5	24.0	29.4	29.2	23.7	25.1	29.0	29.9
PROMEDIO DE MAXIMA	19.2	20.5	22.3	23.5	23.4	21.4	20.1	20.3	20.2	20.2	20.2	19.4	20.9
MEDIA	8.9	10.1	11.8	13.5	14.7	14.8	14.0	14.0	13.9	12.4	10.8	9.5	12.4
PROMEDIO DE MINIMA	-1.4	-0.3	1.3	3.6	6.0	8.2	7.9	7.7	7.7	4.5	1.3	-0.4	3.8
MINIMA EXTREMA	-10.6	-7.7	-8.1	-4.3	0.3	-1.4	1.9	1.5	-7.1	-4.8	-7.2	-7.0	-10.6
OSCILACION	20.5	20.8	21.1	19.8	17.4	13.2	12.2	12.6	12.5	15.6	18.9	19.8	17.0
TOTAL HORAS INSOLACION	204	139	157	188	198	153	181	174	159	169	201	228	2153
HUMEDAD													
TEMPERATURA BULBO HUMEDO	5.9	6.5	7.2	8.0	9.3	10.6	10.3	10.6	10.7	9.1	7.6	6.5	8.5
HUMEDAD RELATIVA MEDIA	64	61	58	56	60	68	71	72	72	70	67	65	65
EVAPORACION	84	107	225	166	140	101	90	90	81	81	73	76	1314.2
PRECIPITACION													
TOTAL	9.2	11.4	17.3	26.6	77.8	152.3	160.3	133.9	106.1	58.5	13.8	9.9	777.0
MAXIMA	58.8	43.7	61.0	60.2	163.9	240.8	231.3	229.4	145.3	106.8	62.7	56.3	240.8
MAXIMA EN 24 HRS.	31.7	32.4	35.5	22.4	38.0	73.4	59.3	44.8	42.8	56.3	17.7	30.3	73.4
MAXIMA EN 1 HORA	4.0	15.3	19.4	16.0	30.0	45.6	30.7	33.0	23.9	32.9	14.3	30.3	45.6
PRESION													
MEDIA EN LA ESTACION	737.4	736.9	736.9	737.4	737.5	736.9	738.5	738.1	737.7	738.0	737.9	740.0	737.8
VIENTO MAXIMO DIARIO													
MAGNITUD MEDIA	7.1	9.3	9.0	8.2	7.4	5.6	6.1	5.9	5.7	5.1	6.0	6.0	6.8
FENOMENOS ESPECIALES													
LLUVIA APRECIABLE	2.6	3.1	3.8	6.8	14.2	20.5	24.3	23.5	19.2	11.3	4.5	2.5	136.4
DESPEJADOS	8.3	10.5	10.6	8.4	7.3	5.4	5.5	5.3	4.9	5.4	6.1	6.9	84.8
MEDIO NUBLADOS	15.3	10.8	14.6	12.0	12.4	4.8	3.7	3.5	4.6	9.1	14.6	14.4	119.8
NUBLADO/CERRADO	7.5	6.7	5.7	9.6	11.3	19.9	21.7	22.2	20.4	16.5	9.3	9.7	160.5
GRANIZO	0.1	0.2	0.0	0.1	0.3	0.2	0.2	0.5	0.1	0.1	0.3	0.0	2.0
HELADA	20.8	14.8	9.4	2.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	3.4	10.5	18.3	79.3
TORMENTA ELECTRICA	0.3	0.3	0.6	1.2	3.9	4.7	4.3	4.3	3.3	2.0	0.8	0.4	25.9
NIEBLA	2.3	1.0	0.5	0.5	0.8	6.3	10.9	10.1	13.3	8.7	6.7	3.1	64.2

UNIDADES: TEMPERATURA (°C), HUMEDAD RELATIVA (%), PRECIPITACION Y EVAPORACION (mm), PRESION (mb), VIENTO (m/s) Y FENOMENOS ESPECIALES (días).

BIBLIOGRAFÍA.

1. Carnicer Royo Enrique.
Ventilación Industrial.
Editorial Paraninfo.
España 2001.
2. Gardea Villegas Humberto.
Aprovechamientos hidroeléctricos y de bombeo.
Editorial Trillas.
México DF 1992.
3. Jorgensen Robert.
Fan Engineering.
Buffalo Forge Company.
New York 1982.
4. Mataix Claudio.
Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.
Editorial Harla.
México DF 1982.
5. Mataix Claudio.
Turbomáquinas térmicas.
Editorial Dossat.
1988.
6. Mott Robert L.
Mecánica de fluidos aplicada.
Editorial Prentice Hall Hispanoamérica.
1996.
7. Soler & Palau.
Manual práctico de ventilación.
España 2002.
8. The New York Blower Company.
Fan Engineering.
Windows versión.
New York 2002.

9. Viejo Zubicaray Manuel.
Bombas, teoría y diseño.
Editorial Limusa.
México 1975.
10. White Frank M.
Mecánica de fluidos.
Editorial McGraw Hill.
11. Woods.
Guía práctica de la ventilación.
Editorial Blume.
España 1970