

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

**Desarrollo de sistema de ventilación por convección forzada para los variadores de
velocidad de los ventiladores del Túnel Fernando Gómez Martínez**

**Divier Alberto Echavarría Taborda
Rene Alexander Mora Restrepo**

Ingeniería Electromecánica

**Director del trabajo de grado:
Juan Gonzalo Ardila Marín**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
FACULTAD DE INGENIERIA
2018**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

RESUMEN

En el siguiente trabajo se dio solución, al problema existente en el sistema de ventilación forzada, encargado de enfriar los variadores de velocidad que controlan los motores eléctricos del sistema de ventilación y extracción del túnel Fernando Gómez Martínez, el cual está compuesto por un ventilador helicentrífugo y un motor eléctrico marca Siemens con características especiales, una de estas es su funcionamiento, en los cuales, el estator gira mientras el rotor permanece quieto.

A este sistema de ventilación forzada, la falta de mantenimiento, ocasiona detenciones inesperadas, generando que sus rodamientos se dañen y su eje sufra desgaste y deformación, obligando a paradas imprevistas y en ocasiones hasta su remplazo, los motores son importados desde Alemania, aumentando el tiempo de reparación hasta en 5 meses, además su precio oscila entre US 5000 a US 7000 dólares, por eso se tomó la decisión de remplazarlos por motores eléctricos comerciales en Colombia, pero con las mismas características.

La metodología utilizada para la realización del trabajo fue la siguiente: Primero se observó durante una semana, el funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema de ventilación forzada (ventilador y motor), permitiendo identificar que los variadores de velocidad trabajaban a altas temperaturas durante largos periodos de tiempo, ocasionando daños y desgaste de los componentes del sistema debido a la cantidad horas trabajadas durante el día. Luego se buscó y selecciono un motor eléctrico comercial en Colombia, que tuviera las mismas características que el motor anterior, posteriormente se realizaron una serie de cotizaciones con empresas del sector buscando la oferta más favorable desde el punto de vista económico.

En el proceso de instalación se descubrió que se debían realizar una serie de modificaciones a la estructura y sistema de acople, generando trabajo adicional. Con el nuevo motor instalado, se realizaron pruebas de funcionamiento y verificación, comprobando que el sistema funcionara bajo los parámetros establecidos, para esto se tomaron mediciones como: temperatura máxima de los variadores, caudal extraído por el sistema, la velocidad angular de trabajo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

Con la implementación o cambio del motor eléctrico del sistema de ventilación forzada se redujeron las paradas imprevistas, se alargó la vida útil de los variadores de velocidad y se garantizará la disponibilidad del sistema de extracción y ventilación del túnel.

Palabras clave: convección forzada, Variador de velocidad, Recalentamiento, Carga térmica.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

RECONOCIMIENTOS

Primero que todo le damos gracias a Dios, por darnos fortaleza en los tiempos difíciles y no dejar que perdiéramos la esperanza; agradecemos también a nuestras familias por su paciencia y amor incondicional, al privarlos de nuestra presencia durante estos últimos 5 años.

Agradecemos a los profesores y a la universidad, por contribuir en la realización de nuestros sueños de ser ingenieros, permitiendo mejorar nuestro nivel de vida.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

ACRÓNIMOS

CFM: Pies cúbicos por minuto.

IGBT: Transistor bipolar de puerta aislada.

UMAS: Unidades Manejadoras de Aires Acondicionados.

RPM: Revoluciones por minuto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	10
2.	OBJETIVOS	12
2.1.	Objetivo General	12
2.2.	Objetivos Específicos	12
3.	MARCO TEÓRICO	13
3.1.	SISTEMA DE VENTILACION	13
2.1.1	Ventilación Natural.	13
2.1.2	Ventilación Forzada.....	13
3.2.	TIPOS DE VENTILADORES	14
3.2.1.	Ventiladores Axiales.	16
3.2.2.	Ventiladores Centrífugos.....	16
3.2.3.	Ventiladores Helicocentrífugos:.....	17
3.3.	Selección del ventilador	18
3.4.	Variador de velocidad	18
3.5.	MOTORES ELECTRICOS	19
3.5.1	Motores Jaula de Ardilla.	21
3.6	TRANSFERENCIA DE CALOR	22
3.7	SISTEMA DE VENTILACION	23
4.	METODOLOGÍA	26
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
6.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	50
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	51

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Ventilación Natural.....	13
<i>Figura 2.</i> Tipos de ventilación forzada.....	14
<i>Figura 3.</i> Clasificación de los ventiladores entre las máquinas	15
<i>Figura 4.</i> Tipos de ventiladores según la trayectoria del aire.....	15
<i>Figura 5.</i> Tipos de rodetes ventiladores centrífugos.	17
<i>Figura 6.</i> Ventilador helicocentrífugos.	17
<i>Figura 7.</i> Diagrama de sistema con variador de velocidad	18
<i>Figura 8.</i> Componentes básicos de un motor eléctrico.	19
<i>Figura 9.</i> Geometría campo eléctrico	21
<i>Figura 10.</i> Partes de un motor Jaula de ardilla.....	22
<i>Figura 11.</i> Formas de transferir el calor.	22
<i>Figura 12.</i> Sistema de ventilación forzada a utilizar	23
<i>Figura 13.</i> Anemómetro digital.	27
<i>Figura 14.</i> Termómetro Digital Laser	28
<i>Figura 15.</i> Tacómetro Digital.....	29
<i>Figura 16.</i> Mediciones realizadas al sistema de ventilación forzada	29
<i>Figura 17.</i> Gabinetes de cada ventilador del sistema de extracción.....	30
<i>Figura 18.</i> Tarjeta del Variador	30
<i>Figura 19.</i> Composición interna del sistema de ventilación en los gabinetes.....	33
<i>Figura 20.</i> Sistema de ventilación forzada.	33
<i>Figura 21.</i> Carcasa del ventilador.....	34
<i>Figura 22.</i> Rodete helicocentrífugo del ventilador.....	34
<i>Figura 23.</i> Motor actual.....	36
<i>Figura 24.</i> Motor eléctrico trifásico jaula de ardilla marca Siemens	37
<i>Figura 25.</i> Características del motor trifásico seleccionando.....	37
<i>Figura 26.</i> Estructura diseñada para elevar el rotor del ventilador.	39
<i>Figura 27.</i> Soporte del ventilador para elevarlo.	39
<i>Figura 28.</i> Plato o disco de unión al rotor del ventilador	40
<i>Figura 29.</i> Plato con buje.	40

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

<i>Figura 30.</i> Fabricación de disco o plato de unión.	41
<i>Figura 31.</i> Parte trasera del ventilador.	42
<i>Figura 32.</i> Fabricación de buje de unión.....	42
<i>Figura 33.</i> Ventilador montado en el torno.	43
<i>Figura 34.</i> Verificación de la concéntrica entre el disco, rotor del ventilador y eje ..	43
<i>Figura 35.</i> Ensamble de los componentes del sistema de ventilación.....	44
<i>Figura 36.</i> Platina a 900 para evitar vibración.	44
<i>Figura 37 .</i> Verificación visual del sistema en funcionamiento.	45
<i>Figura 38.</i> Velocidad del viento medida con anemómetro Fuente Propia.	45
<i>Figura 39.</i> Velocidad y temperatura del aire.	46
<i>Figura 40.</i> Temperatura de trabajo de la tarjeta sin sistema de ventilación.	46
<i>Figura 41.</i> Temperatura de la tarjeta con el sistema de ventilación funcionando.	46
<i>Figura 42.</i> Decibeles del sistema en funcionamiento. Fuente Propia.	47
<i>Figura 43.</i> Velocidad y temperatura del aire extraído.....	47
<i>Figura 44.</i> Velocidad y temperatura del aire extraído 2.....	48
<i>Figura 45.</i> Amperaje en la línea de alimentación del sistema de ventilación.	48
<i>Figura 46.</i> Sistema nuevo ensamblado.....	49

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

Lista de tabla

Tabla 1	24
Tabla 2	25
Tabla 3	27
Tabla 4	38

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

1. INTRODUCCIÓN

El Túnel Fernando Gómez Martínez, es un proyecto que se encuentra ubicado en la autopista a occidente a 13 Km de la ciudad de Medellín y a 55 Km del municipio de Santa fe de Antioquia, inaugurado el 20 de enero del 2006 con una longitud de 4.6 kilómetros. El Túnel está dotado con equipos de alta tecnología: 45 cámaras internas y 5 cámaras externas que permiten visualizar en todo momento los usuarios, posee un sistema de iluminación compuesto por 800 lámparas de sodio, 220 kilómetros de cableado eléctrico, cuenta con un sistema de ventilación y extracción, además tiene un sistema contra incendios constituido por dos tanques con 75.000 litros de agua cada uno y 45 hidrantes distribuidos por todo su recorrido.

El sistema de ventilación y extracción, cuenta con variadores de velocidad, encargados de aumentar o disminuir su velocidad, dependiendo de la generación de gases internos producto de la combustión de los vehículos que transitan diariamente, estos variadores poseen un sistema de ventilación forzada encargado de extraer el calor generado en ellos por su funcionamiento continuo, este sistema está compuesto por un ventilador helicocentrífugo y un motor eléctrico marca Siemens, este motor está presentando fallas mensualmente debido al poco mantenimiento que se le realiza (limpieza, lubricación de cojinetes), estos motores funcionan de forma diferente, porque el estator es el que gira y el rotor permanece quieto a diferencia de los motores convencionales.

En estos motores la falta de mantenimiento ocasiona paradas imprevistas, generando que sus rodamientos se dañen y su eje sufra desgaste y deformación, ocasionando que sean cambiados, el problema es que no se encuentran en el mercado nacional, teniendo que ser importados desde Alemania y tardando hasta 5 meses en llegar, además su costo es elevado, su precio oscila entre US 5000 a US 7000 dólares, por eso se optó por remplazarlos por motores eléctricos comerciales con las mismas características.

Para el desarrollo del trabajo, se empezó con una breve introducción sobre las características y condiciones de funcionamiento del túnel Fernando Gómez Martínez, profundizando en los componentes eléctricos y mecánicos del sistema de extracción y ventilación. Posteriormente en el capítulo dos se realizó un estudio sobre el funcionamiento

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

de los sistemas de ventilación y sus componentes básicos: tipo de ventilador, tipo de motor, caudal removido, eficiencia, costo, etc.

En el capítulo tres se planteó la metodología a seguir, donde se especifica cómo se seleccionó y ensablo el nuevo motor eléctrico, el cual debe tener las mismas características del motor anterior, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de ventilación forzada de los variadores.

Para el capítulo cuatro se reportaron los resultados obtenidos durante el proyecto, con los cuales se comprobó la mejora realizada al sistema, garantizando su correcto funcionamiento. Por último, como conclusión se pudo comprobar que con un poco de iniciativa y conocimiento se puede dar solución a cualquier tipo de problema, con esta mejora se alargará la vida útil de todos los componentes, disminuyen los costos de mantenimiento o reparación, al evitar el recalentamiento de los componentes.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema de ventilación por convección forzada para los variadores de velocidad de los ventiladores del Túnel Fernando Gómez Martínez para mantener su rendimiento y eficiencia.

2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de ventilación definiendo el tipo de sistema de ventilación para los variadores de frecuencia y el caudal necesario, con su sistema de captación y descarga, y su sistema eléctrico, tal que permita el funcionamiento adecuado de los variadores de los ventiladores del Túnel.
- Fabricar el sistema de ventilación tras la compra de los materiales y componentes necesarios, aplicando procesos metalmecánicos de manufactura y ensamble.
- Poner a punto el sistema de ventilación por medios de pruebas y ensayos, observando su funcionamiento y así garantizar el correcto funcionamiento del equipo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

3. MARCO TEÓRICO

3.1. SISTEMA DE VENTILACION

Se denomina sistema de ventilación, al equipo encargado de renovar el aire del interior de una edificación, lugar o espacio mediante extracción o inyección de aire nuevo. Uno de sus objetivos es colaborar en el acondicionamiento térmico del lugar y de los equipos, manteniendo los niveles máximos establecidos de gases o partículas en el ambiente, que promueven el correcto funcionamiento de las máquinas o equipos de trabajo. Existen dos tipos de ventilación: natural y forzada.

3.1.1 Ventilación Natural. Se realiza mediante la adecuada ubicación de superficies, pasos o conductos aprovechando las depresiones o supresiones creadas, por viento o convección térmica del aire sin el aporte de energía en forma de trabajo mecánico (Franco.com.mx, 2016).



Figura 1. Ventilación Natural.
Fuente: (Peña, 2010).

3.1.2 Ventilación Forzada. En la Ventilación forzada, se crea de forma artificial las depresiones o sobrepresiones en conductos de aire. Esto se logra mediante extractores, ventiladores, Unidades Manejadoras de Aire Acondicionado (UMAS), etc. También se ubica la ventilación por presión positiva, en donde es mayor la cantidad de aire inyectado al

lugar con respecto al extraído, se utiliza en lugares donde se requiere que el aire que entra no se mezcle con el que sale.

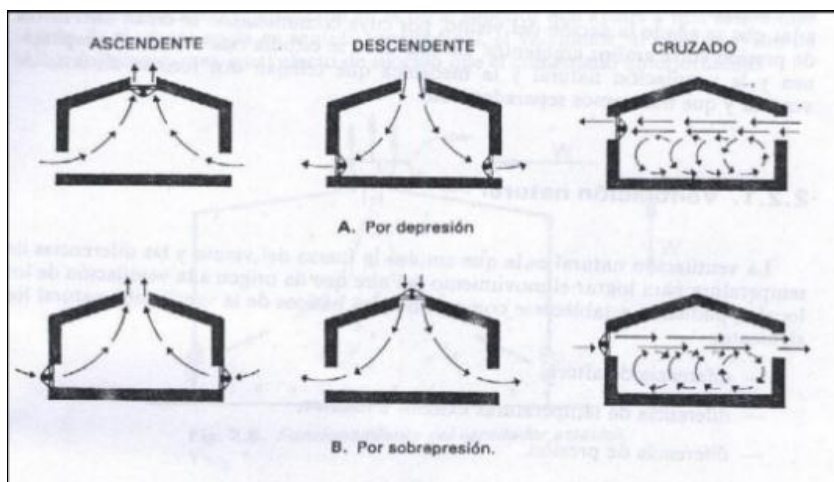


Figura 2. Tipos de ventilación forzada
Fuente: (Peña, 2010).

3.2. TIPOS DE VENTILADORES

Para mover el aire en un sistema de ventilación, se requiere de energía para superar las pérdidas de presión del sistema. Esta energía puede darse por convección natural o forzada. Sin embargo, la mayoría de los sistemas requieren de un dispositivo, para el movimiento de aire como son los ventiladores. Un ventilador es una máquina rotativa que pone en movimiento un fluido gaseoso, su funcionamiento se basa, en el suministro de energía mecánica al aire, a través de un rotor que girará a alta velocidad, incrementando la energía cinética del aire, que luego se transformará parcialmente en presión estática (Escoda, 2000). Existe una clasificación de los ventiladores como máquinas, ver figura 1.

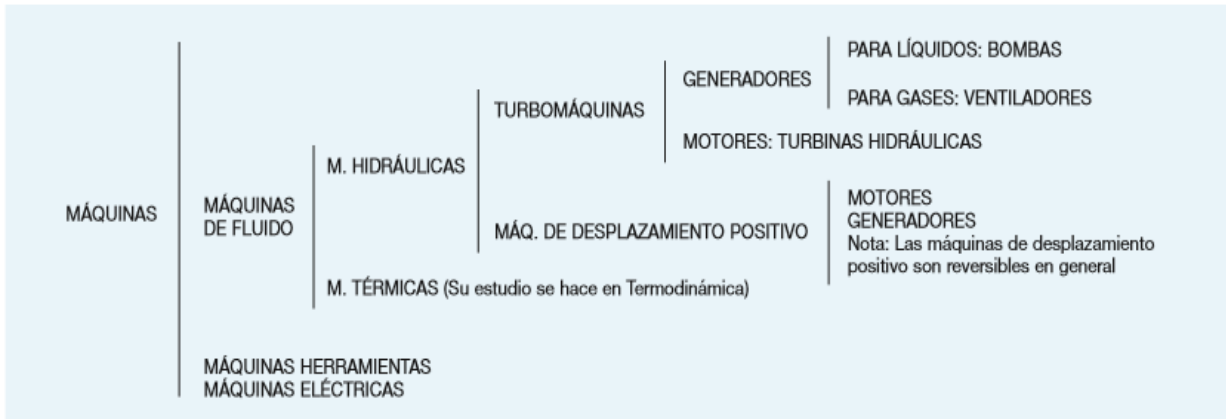


Figura 3. Clasificación de los ventiladores entre las máquinas
 Fuente: (Escoda, 2000).

Pero existen varios tipos de ventiladores:



Figura 4. Tipos de ventiladores según la trayectoria del aire
 Fuente: (Escoda, 2000).

En la figura anterior, se pueden apreciar los diferentes tipos de ventiladores existentes en la actualidad, clasificados según la trayectoria del aire. En la esquina superior izquierda encontramos los ventiladores axiales, los cuales impulsan o succionan el aire paralelo a su eje; En la esquina superior derecha encontramos los ventiladores centrífugos, el aire entra en forma transversal al eje y sale de la misma forma. Por último encontramos los

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

ventiladores helicocentrífugo, son una mezcla de los anteriores, el aire entra de forma axial y sale de forma transversal.

3.2.1. Ventiladores Axiales. Los ventiladores axiales, transmiten la energía al aire por medio de un movimiento de giro, provocando por el rotor, generando un remolino que atrae o impulsa el aire. El movimiento del aire a través del rotor se realiza conservando la dirección del eje, poseen una eficiencia mecánica alta del 95%, sin embargo, no pueden vencer caídas de presión muy elevadas. Debido a esto, la principal aplicación de estos se encuentra en el campo de la ventilación general y funcionan como extractores o inyectores de aire. El rotor de estos ventiladores tiene aspas en ángulo hacia el eje, por lo que el sentido del flujo se invierte al invertir el sentido de giro del rotor. Las características de los ventiladores axiales se reflejan en la forma de las aspas y el número de los mismos, las aspas pueden ser de grosor uniforme con forma aerodinámica, las cuales proporcionarán una mayor presión para diámetros y velocidades equivalentes. Sin embargo, al utilizarse estos ventiladores a presiones mayores, el flujo de aire cercano al eje no será rectilíneo y provocará ruido considerable (Londoño, 2011).

3.2.2. Ventiladores Centrífugos. Son turbo-máquinas, en las cuales el aire ingresa al rotor generalmente con una trayectoria axial y sale en dirección perpendicular. El rotor posee aspas adheridas al mismo, por las cuales circula en aire hacia afuera a causa de la fuerza centrífuga. La energía recibida por el aire proviene del momento ejercido por el eje giratorio acoplado a un motor. El rendimiento mecánico de un ventilador centrífugo varía entre el 45 y 84% debido a la presencia de remolinos y choques causados por el cambio de dirección de aire (Escoda, 2000).

Estos ventiladores tienen tres tipos básicos de rodets:

1. Álabes curvados hacia adelante
2. Álabes rectos
3. Álabes inclinados hacia atrás/curvados hacia atrás

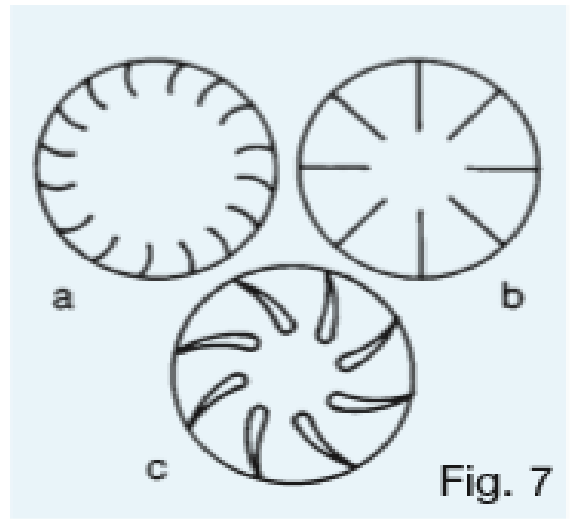


Figura 5. Tipos de rodetes ventiladores centrífugos.
Fuente: (Escoda, 2000).

3.2.3. Ventiladores Helicocentrífugos: equipos intermedios en donde la trayectoria del aire cambia, el aire entra al rodete de forma axial y sale transversal al eje (Véliz, 2013). Son ventiladores con concepción mixta entre centrífugos y axiales, el eje de la canalización se confunde con el eje del rodete, pero este tiene una configuración de centrífugo. Este es el tipo de ventilador será utilizado en el presente proyecto para el sistema de ventilación forzada o de tiro inducido al interior del variador de frecuencia.

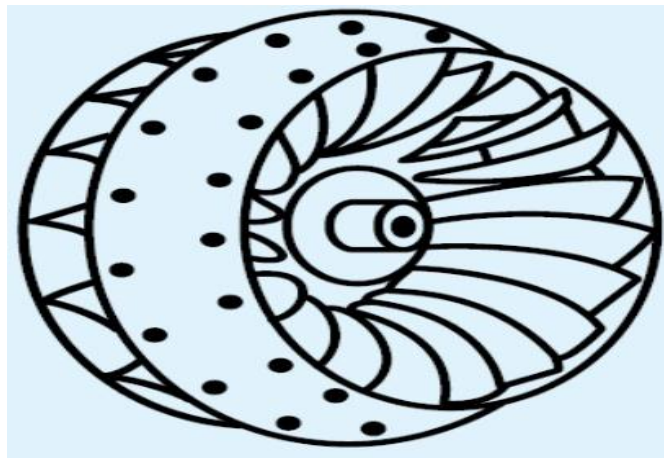


Figura 6. Ventilador helicocentrífugos.
Fuente: (Escoda, 2000).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

3.3. Selección del ventilador

Para elegir un ventilador, se debe conocer el caudal y la presión mínima necesaria requerida por el sistema, las condiciones de temperatura y altitud del sitio de trabajo, tamaño y número de revoluciones a las cuales debe trabajar, como la potencia entregada al eje, ruido permitido y sistema de transmisión de potencia a utilizar (correas, cadena, engrane) además debe funcionar eficientemente bajo condiciones de carga.

3.4. Variador de velocidad

Es un dispositivo que se encarga de controlar la velocidad angular de una máquina, este puede ser mecánico, eléctrico, electrónico o hidráulico; muy utilizados en motores, mejorando la eficiencia de la máquina, porque operan utilizando el mínimo consumo de energía.



Velocidad Variable

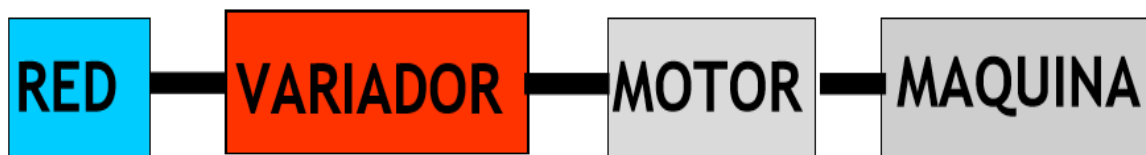


Figura 7. Diagrama de sistema con variador de velocidad
 Fuente: (Cañadas, 2002).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

3.5.MOTORES ELECTRICOS

Son máquinas eléctricas, encargadas de transformar la energía eléctrica en mecánica, estos están divididos en dos tipos según la corriente utilizada para su alimentación: motores de corriente alterna o continúa.

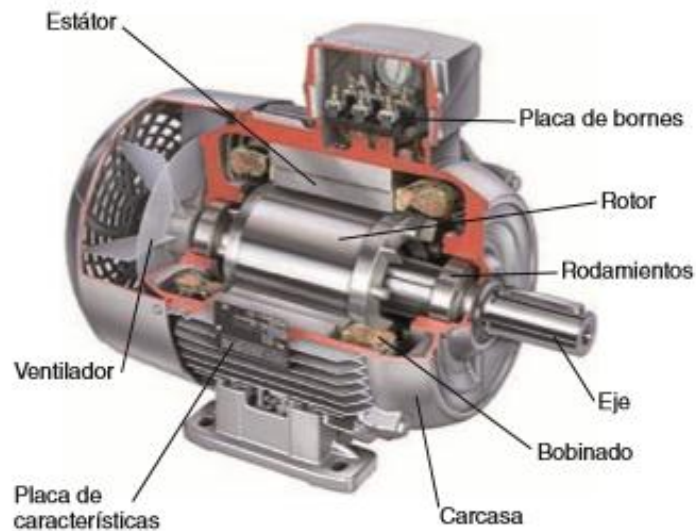


Figura 8. Componentes básicos de un motor eléctrico.
Fuente: (Electricos, 2017).

Estos se subdividen en:

- **Motores de corriente continua**

De excitación en serie

De excitación compuesta

De excitación independiente

De excitación o derivación

- **Motores de corriente alterna**

Motores sincrónicos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

Motores asincrónicos (monofásicos y trifásicos)

Pero existe otra subdivisión:

- **Monofásicos**

De espira en corto circuito

De bobinado auxiliar

Universal

- **Trifásicos**

Rotor bobinado

Rotor en corto circuito o jaula de ardilla

Los motores más utilizados en la industria, son los motores de corriente alterna asincrónicos monofásicos o trifásicos, por tener una aplicación generalizada, fácil utilización, poco mantenimiento y bajo costo (Electricos, 2017). Estos se diferencian de los sincrónicos, debido a que su rotor o parte móvil, gira a una velocidad distinta que la de sincronismo, la cual se puede calcular con la siguiente expresión:

$$n = \frac{60 * f}{P}$$

Dónde:

f = frecuencia de la red (hz)

n = número de revoluciones por minuto (rpm)

P = número de pares de polos de la maquina

3.5.1 Motores Jaula de Ardilla. El rotor en estos motores está constituido por dos jaulas, una externa, de menor sección y material de alta resistividad, y otra interna de sección mayor y material de baja resistividad. Ambas jaulas están separadas entre sí en cada ranura por medio de una delgada rendija que aumenta el flujo de dispersión en la jaula inferior. De este modo se consigue una jaula exterior de alta resistencia y baja reactancia y una jaula interior de baja resistencia y baja reactancia.

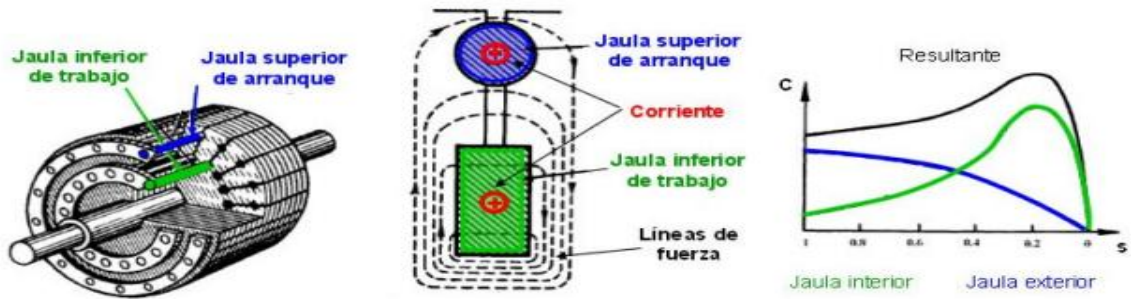


Figura 9. Geometría campo eléctrico
Fuente: (UTN, 2017).

El estator está constituido por tres devanados, los cuales están desfasados; su rotor esta devanado de forma similar al del estator, pero su número de fases no tiene que ser similares, pero el número de polos tiene que ser igual.

Los conductores del rotor están distribuidos por toda la periferia del rotor, pero sus extremos se encuentran cortocircuitados, por tanto no hay oportunidad de conectar el devanado del rotor con el exterior, la posición inclinada de las jaulas mejora el arranque y disminuye los ruidos.

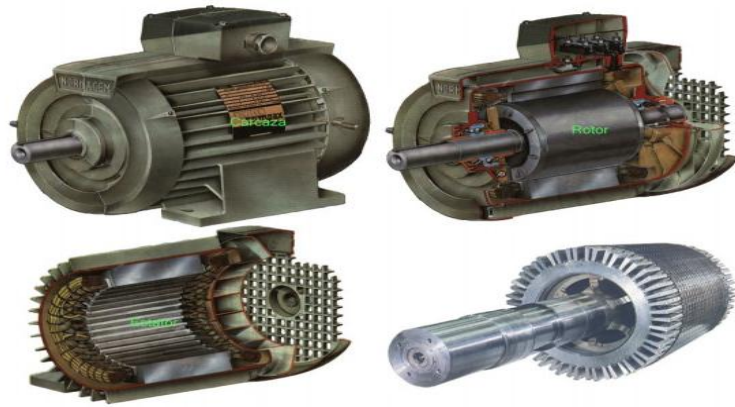


Figura 10. Partes de un motor Jaula de ardilla
Fuente: (UTN, 2017).

3.6 TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es un fenómeno que se da entre dos cuerpos, fluidos o gases; esta energía en forma de calor, puede ser transferida de tres formas: conducción, convección y radiación, esta transferencia se logra por la diferencia de temperatura existente entre ellos (segunda ley de la termodinámica), ver figura 11.

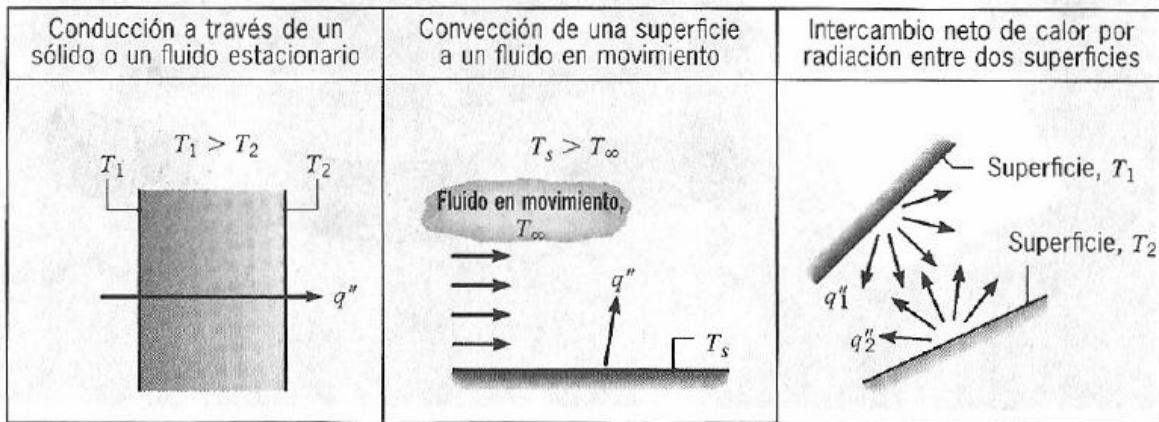


Figura 11. Formas de transferir el calor.
Fuente: (Incropera, 1999).

La transferencia de calor por conducción, es la que se logra entre dos sólidos o entre un sólido y un fluido sin velocidad. La transferencia de calor por convección, se divide en dos:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

convección natural y forzada, la primera se da naturalmente debido al movimiento del aire y la segunda es provocada con una máquina, ventilador o bomba impulsa al fluido; por último la radiación térmica es un fenómeno de transferencia de calor, en el cual un objeto emite ondas electromagnéticas térmicas.

3.7 SISTEMA DE VENTILACION

Un sistema de ventilación está compuesto por varios componentes: rejilla de admisión y descarga, ventilador, motor eléctrico, ducto, etc. Para este trabajo se utilizara un sistema de ventilación como este:



Figura 12. Sistema de ventilación forzada a utilizar
Fuente: (Escoda, 2000).

El tipo de rejillas o difusores que se usan para extraer aire, se pueden utilizar para inyectarlo. Existen varios tipos de rejillas, sin embargo, las más comunes son las rejillas de aleta ajustable y las rejillas de aleta fija. Las rejillas de aleta ajustable son las más utilizadas para la extracción de aire.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

Las rejillas de deflexión simple poseen aletas que cambian la dirección del flujo del aire en un plano vertical u horizontal dependiendo de la dirección de las aletas. Las rejillas de deflexión doble poseen 2 juegos de aletas y controlan el flujo en ambos planos. Las rejillas de aleta fija son muy similares a las variables, excepto que el ángulo de las aletas no es ajustable (Echeverry, 1992). Para dimensionar las rejillas, es necesario definir una velocidad de extracción, la cual depende de las condiciones del aire: si este posee material particulado, está mezclado con más gases, etc. Para poder calcular el área efectiva de flujo mediante la siguiente fórmula:

$$Q_r = v_{ex} \cdot A_{ef} \cdot \gamma \cdot 1000$$

Dónde:

Q_r : Caudal de extracción de la rejilla, en l/s.

v_{ex} : Velocidad de extracción de aire, en m/s.

A_{ef} : Área efectiva de la rejilla, en m^2 .

γ : Factor de corrección.

La velocidad del aire para la captura depende de sus condiciones, como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 1
 Velocidad de extracción o captura recomendada
TABLA 3.1 Valores recomendados para la velocidad de captura^(3.1, 3.2)

Condiciones de dispersión del contaminante	Ejemplo	Velocidad de captura, m/s
Liberado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación desde depósitos; desengrase, etc.	0,25-0,5
Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo.	Cabinas de pintura; llenado intermitente de recipientes; transferencia entre cintas transportadoras a baja velocidad; soldadura; recubrimientos superficiales; pasivado.	0,5-1
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire.	Cabinas de pintura poco profundas; llenado de barriles; carga de cintas transportadoras; machacadoras.	1-2,5
Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido del aire.	Desbarbado; chorreado abrasivo; desmoldeo en fundiciones.	2,5-10

Fuente: (Echeverry, 1992).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

Existe otro tipo de velocidad, la velocidad de transporte en el ducto, estipuladas en la siguiente tabla.

Tabla 2
Velocidad de transporte en conductos.

TABLA 3.2 Valores recomendados para la velocidad de diseño de conductos

Naturaleza del contaminante	Ejemplos	Velocidad de diseño (m/s)
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos	Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5 y 10 m/s)
Humos de soldadura	Soldadura	10-12,5
Polvo muy fino y ligero	Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco	12,5-15
Polvos secos	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero	15-20
Polvo ordinario	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvo de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza, polvo en el embalado y pesado de amianto en industrias textiles	17,5-20
Polvos pesados	Polvo de aserrado (pesado y húmedo), viruta metálica, polvo de desmoldeo en fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado de fundición, polvo de plomo	20-22,5
Polvo pesado húmedo	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir (pegajosos)	> 22,5

Fuente: (Escoda, 2000).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

4. METODOLOGÍA

Inicialmente se realizó un diagnóstico detallado de todos los componentes del sistema de ventilación forzada, encargado de enfriar los variadores de velocidad que controlan los motores del sistema de ventilación y extracción del túnel Fernando Gómez Martínez, donde se identificaron dos tipos de fallas recurrentes en el sistema: la primera es el cambio trimestral de sus rodamientos y segundo el recalentamiento que sufren los motores eléctricos del sistema.

El primer problema se le dio solución con un cambio del proveedor de los rodamientos, el cual garantizaba mayor vida útil, pero el problema del recalentamiento y correspondiente daño de los componentes del motor eléctrico que hace parte del sistema de ventilación forzada de los variadores era más complejo, porque este sistema cada vez que se daña resulta costoso y además el mantenimiento que se le realiza hasta hoy es solamente correctivo, este proyecto tenía como propósito reducir los costos de mantenimiento y reparación del sistema.

Analizando las posibles soluciones del problema de recalentamiento y reparación del motor eléctrico del sistema de ventilación, se formularon dos soluciones: la primera fue la construcción de un banco de coolers y la segunda reemplazar el rodete helicentrífugo del ventilador por un rodete axial; ninguna de las dos opciones fue viable debido a que el área transversal para la instalación del ventilador es limitada, en el caso del banco de coolers se necesitaba un área considerable o una cantidad de coolers mínima necesaria de la cual no se dispone y los ventiladores axiales que cumplían con el caudal necesario, el diámetro del rodete sobrepasaba el área transversal para su montaje.

Debido a que ninguna de las dos alternativas propuestas se pudieron implementar, se decidió utilizar el rotor original del ventilador y acoplarle un motor nuevo con las mismas características de potencia y velocidad angular del motor original, garantizando que el caudal extraído fuera igual al del sistema actual.

Para esto se tomaron datos del funcionamiento del variador y el ventilador actual, con el fin de obtener las variables que nos permitirán calcular sus condiciones de trabajo:

temperatura de la tarjeta del variador, calor generado, calor a extraer, caudal del ventilador, etc. Para lo cual se utilizaron los siguientes instrumentos, ver figuras 13,14 y 15:

- ✓ Anemómetro
- ✓ Tacómetro digital
- ✓ Pistola de temperatura



Figura 13. Anemómetro digital.
Fuente: Propia.

Tabla 3
Ficha técnica del anemómetro

FUNCIÓN	DISTANCIA	LA MEJOR EXACTITUD
Velocidad del aire	0.40 - 25.00 m/s 125 - - 4900 pies/min	De la escala completa +/- 2%
Flujo de Aire	0.01 - 99.99 metros cúbicos por segundo. 1 pie - 0000 pies cúbicos por minuto	0 - 9.999 m; 0 - 9.999 pies
Temperatura de aire °C (°C)	32°F - 122°F (0°C a 50°C)	(0,8°C) +/- 1,5°F
Monitor	Dual 4 dígitos (9999 cuentas) LCD	
Temperatura de funcionamiento	32°F a 122°F (0°C a 50°C)	
Humedad de funcionamiento	Max. 80% de humedad relativa	
Fuente de alimentación	Batería de 9V (de alta resistencia alcalina)	

Fuente: Propia.

La pistola digital para medir temperatura, utiliza un rayo laser para tomar la temperatura y posee las siguientes características:

- ✓ Rango de temperatura de - 18 a 275 C
- ✓ Precisión: ± 2% o ± 2 C de la lectura

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

- ✓ Distancia-a-Punto: 8: 1 @ 90% de energía
- ✓ Repetibilidad: $\pm 1\%$ o ± 1 de la lectura
- ✓ mira láser de punto único



Figura 14. Termómetro Digital Laser
Fuente: Propia.

Este tacómetro digital (DT-2236A), es un instrumento de alta calidad, que puede medir las revoluciones por minuto a las cuales trabaja un equipo de dos formas diferentes: la primera utiliza un láser y la otra forma por contacto directo, para medir la Velocidad de Rotación (RPM) y la Velocidad Superficial, posee un amplio rango de medición y alta resolución, puede utilizarse a distancias de 500 mm o 20 in.

Características:

- ✓ Pantalla LCD grande de 5 dígitos
- ✓ Ofrece 3 opciones de medición: Foto / láser, contacto y velocidad superficial
- ✓ Utilice la técnica del microprocesador (CPU) y del láser de la unión para combinar la foto (RPM) y el tacómetro del contacto (RPM, m / min) en 1 metro
- ✓ Amplio rango de medición (99,999 RPM) con alta resolución
- ✓ Almacenamiento de memoria con Máximo, Mínimo y Último Valor medido
 - ✓ Puede conectarse a 6 V de corriente continua (DC) mediante el uso de transformador de CA para el funcionamiento largo
 - ✓ Indicación de batería baja
 - ✓ Un botón para la medición de contactos y fotos se puede cambiar en cualquier momento

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

- ✓ Nuevo sensor de velocidad de superficie con velos de flauta para medir la velocidad y la longitud del cable, cable y cuerda convenientemente.



Figura 15. Tacómetro Digital
 Fuente: Propia.

Para medir el caudal extraído, se utilizó el anemómetro digital, pero se utilizó el siguiente procedimiento: se tomó tres veces la velocidad del fluido, en tres puntos diferentes del ventilador, pero a la misma distancia (15 cm), con lo cual se calculó una velocidad promedio en m/s, lo mismo se hizo con la pistola de temperatura, ver figura 16.



Figura 16. Mediciones realizadas al sistema de ventilación forzada
 Fuente: Propia.

Como se puede apreciar la temperatura de la tarjeta del variador está a 24,8 C, la cual debería estar a 17 C, lo que representa un recalentamiento o aumento de temperatura. A pesar de que la resistencia eléctrica presentada por conductores eléctricos, interruptores o

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

cualquier equipo eléctrico es baja, en algunos sistemas se debe tener en cuenta, para este caso en particular es así, porque el sistema se encuentra dentro de un cuarto y a la vez dentro de un gabinete, el calor generado debe ser disipado, porque aparecen aumentos de temperatura de 5^o y 8^o, los cuales afectan los equipos eléctricos (HVAC&R, 2006).



Figura 17. Gabinetes de cada ventilador del sistema de extracción.
Fuente: propia.

Por lo tanto con los datos obtenidos en las pruebas de funcionamiento y las siguientes formulas se calculó: el calor generado por el motor que aumenta la temperatura en la tarjeta del variador de velocidad y el caudal que debe ser extraído por el ventilador.

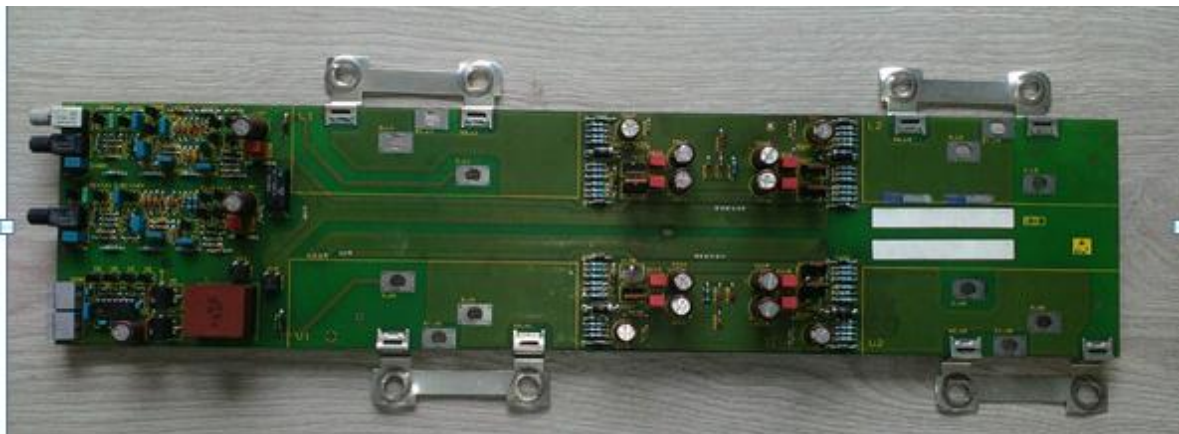


Figura 18. Tarjeta del Variador
Fuente: Propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

- **calor generado por motores eléctricos:** el calor generado por un motor depende de su eficiencia, para este motor de 5 hp y 3600 rpm su eficiencia era del 84 %.

$$Q^0 = Potencia * Eficiencia$$

Para calcular el calor generado en la tarjeta del variador de velocidad, se utilizaron las siguientes:

- **calor generado en la tarjeta del variador**

$$\dot{Q} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Dónde:

\dot{Q} = Tasa de transferencia de calor generada en la máquina (variador). [W]

V = Voltaje a la salida del variador de velocidad. [V]

I = Corriente a la salida del variador de velocidad. [A]

$\cos \varphi$ = Factor de potencia del variador de velocidad.

- **Transferencia de calor por conducción**

$$Q_{\text{conduccion}} = K * A * \Delta T$$

Dónde:

$Q_{\text{conducción}}$ = transferencia de calor por conducción (kW)

K= conductividad térmica del material ($\frac{W}{m^2 * K}$)

A= área del elemento (m²)

ΔT = diferencia de temperatura entre los dos elementos (K)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

Transferencia de calor por convección

$$Q_{\text{conveccion}} = h * A * \Delta T$$

Dónde:

$Q_{\text{convección}}$ = transferencia de calor por convección (KW)

h = coeficiente de transferencia de calor por convección ($\frac{W}{m^2 * K}$)

- **Transferencia de calor por radiación**

$$Q_{\text{radiacion}} = \epsilon * A * \sigma * (T_{\text{superficie}}^4 - T_{\text{alrededores}}^4)$$

Dónde:

$Q_{\text{radiación}}$ = transferencia de calor por radiación (KW)

ϵ = emisividad del medio ($\frac{W}{m^2 * K}$)

σ = constante de Stefan Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * k^4}$

En este caso el calor extraído dependerá, de la tasa de calor generada por el motor y la tarjeta del variador:

$$Q_{\text{extraido}} = Q_{\text{motor}} + Q_{\text{tarjeta}}$$

Luego se procedió al desarme del sistema de ventilación forzada, el cual se encuentra ubicado dentro de unos gabinetes metálicos, ver figura 19.

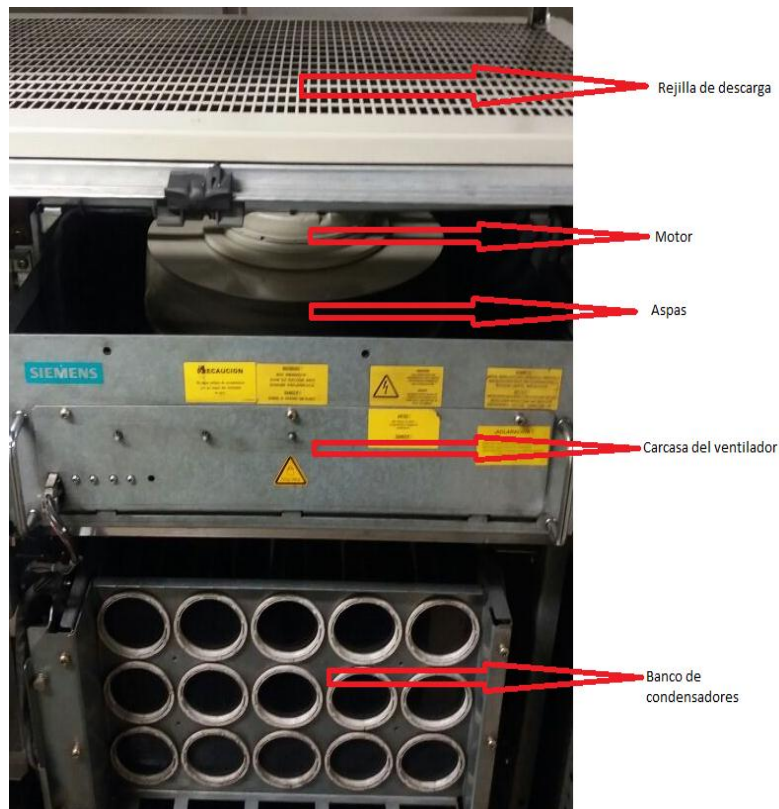


Figura 19. Composición interna del sistema de ventilación en los gabinetes
Fuente: Propia.

Para esto se buscaron las herramientas adecuadas, garantizando el cuidado de los componentes del sistema.



Figura 20. Sistema de ventilación forzada.
Fuente: propia.



Figura 21. Carcasa del ventilador.
Fuente: Propia.



Orificios de

Figura 22. Rodete helicocentrífugo del ventilador
Fuente: Propia.

Luego del desarme de los componentes del sistema de ventilación, se procedió a buscar un motor eléctrico con las mismas características del actual, pero que fuera comercial, para esto se realizaron una serie de cotizaciones con diferentes empresas dedicadas a la comercialización y venta de motores eléctricos trifásicos, las cuales fueron evaluadas de acuerdo a las siguientes características: mantenimiento, costo, eficiencia y garantía.

El indicador principal de la selección del motor eléctrico era la potencia y la velocidad angular que es 3600 rpm, la potencia se determina con la siguiente formula:

$$P_v = \frac{Q_v \Delta p}{10^6 \eta_v}$$

Donde:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

P_v : Potencia requerida por el ventilador, en kW

Q_v : Caudal del ventilador, en l/s.

Δp : Caída de presión del sistema, en Pa

η_v : Eficiencia del ventilador

Después de la selección del motor, se procedió al montaje y acople con el ventilador, donde se presentaron varios problemas:

El primero fue que el nuevo motor era más corto que el anterior, por esto se debía diseñar un sistema que redujera la distancia de separación entre las partes.

El segundo inconveniente fue, el acople entre el motor y el rodete del ventilador no se podía realizar, porque el anterior motor no poseía un eje y estaba unido al ventilador por medio de varios orificios ubicados en su parte trasera, ver figura 22. Para esto se debía diseñar un plato o disco que uniera las partes (ventilador y motor).

Con el diseño del plato o disco para unir las partes se creó otro problema que era mantener el eje del motor unido al plato sin juego o vibraciones, para esto se diseñó un buje que mantenía firme esta unión y permitía la concéntrica entre la partes.

Luego para fijar el buje al plato y al eje se utilizó un sistema de cuña con el eje y un sistema de tornillo prisionero con el plato, evitando el juego entre las partes, posteriormente se procedió al ensamble de todos los componentes del sistema de ventilación, pero se presentó otro problema es que el motor funcionando generaba mucha vibración, para lo cual se diseñó una platina en L unida a la estructura en cargada de controlarla.

Para finalizar se realizaron pruebas de funcionamiento, para comprobar la velocidad de giro, el caudal extraído, la temperatura de trabajo de la tarjeta y el correcto funcionamiento de todo el sistema.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema de ventilación forzada anterior, contaba con un ventilador helicocentrífugo y un motor trifásico, este motor tenía una característica especial, su funcionamiento no es como los motores convencionales, donde el eje del motor gira y está conectado a la maquina a impulsar, en este caso, el estator gira y el eje permanece fijo, ósea que la maquina impulsada está unida es al estator.



Figura 23. Motor actual
Fuente: Propia.

Este tipo de motores tienen que ser importados desde Alemania y pueden tardar en llegar hasta 5 meses, por eso se tomó la decisión de cambiarlo, además era muy costoso. Para la selección del motor se consultaron diferentes empresas distribuidoras y comercializadoras de motores eléctricos trifásicos semicerrados, después de analizar varios tipos de motores se optó por uno de jaula de ardilla trifásico, marca Siemens de referencia SD100 y carcasa 184T 1LF7, ver figura 23 y 24 y sus características de funcionamiento en la tabla.



Figura 24. Motor eléctrico trifásico jaula de ardilla marca Siemens
Fuente: Propia.

SD100 motores para uso severo cumplen con los estándares de eficiencia Nema Premium (NOM). Son ideales para aplicaciones bajo techo o a la intemperie en atmósferas de operación severas. Estos motores son ideales para aplicaciones en procesos químicos, la minería, en fundidoras, manejo de desperdicios y en la petroquímica.

Especificaciones:

- 1 a 400 HP.
- Factor de servicio de 1.15, a 40°C ambiente.
- 2, 4, 6 y 8 polos.
- Trifásicos, 60 Hz, 208-230/460 V hasta armazones 256T.
- 230/460V a partir de armazón 284T hasta 405T.
- 460 V en armazones 440.
- Montaje Horizontal (F1)
- Cumpen los siguientes estándares de eficiencia:
 - NOM-016-ENER 2010.
 - NEMA Premium® efficiency
 - Aislamiento clase F, elevación de temperatura Clase B @ 1.0 F.S.
 - Protección equivalente a IP54.
 - Diseño NEMA B, excepto donde se indique, servicio continuo.
 - Disponible en armazones desde 143T hasta S449.
 - Aptos para uso con variador de frecuencia (marcado en placa de datos):
 - Par variable 20:1 armazones 143...3449
 - Par constante 20:1 armazones 143...365
 - Par constante 4:1 armazones 404...3449

Características para una larga vida:

- Carcasa y Ejeudoes** – Construidos en fundición gris para una estructura integral excepcional y resistente a la corrosión, equipado con patas fundidas a la carcasa. Cuenta con drenes de condensación tipo T (T-drains). El dispositivo de levantamiento (cáncamo) se incluye para motores en armazones a partir del 180T.
- Rotor** – El diseño único en el rotor provee mejoras en la eficiencia debido a la longitud de las barras de aluminio y los anillos finales reducen pérdidas por resistencia. Cada rotor es dinámicamente balanceado con el propósito de alargar la vida de los rodamientos y se incluye una flecha fabricada en acero al carbón (C1045) para ofrecer un máximo desempeño.
- Estató** – Fabricado con laminaciones de acero con grado eléctrico Premium y alambre magneto de cobre para así reducir pérdidas y elevar la eficiencia. El diseño único en el paquete de laminaciones del estator disminuye la densidad de flujo e incrementa la capacidad de enfriamiento. Una mayor sección transversal en los conductores permite reducir las pérdidas por resistencia en el estator.



Aislamiento – Motores provistos con un sistema de aislamiento para uso con Inversor Clase F no higroscópico con elevación de temperatura NEMA Clase B que proporciona un margen extra respecto a la vida térmica de los devanados. El sistema de barnizado utilizado asegura una máxima penetración en los devanados obteniendo protección contra la humedad, corrosión y sobrecargas eléctricas. Este sistema de aislamiento cumple o excede con lo requerido por la norma NEMA MG-1-2006, parte 31. Todos los motores adecuados para uso con variador de frecuencia.

Ventilación – Un ventilador bi-direccional antichispas es colocado en la fecha del motor. Su diseño reduce pérdidas y ruido, mejora el flujo de aire obteniendo una óptima ventilación. El capuchón en fundición gris es ofrecido en todos los tamaños de armazón.

Rodamientos – Son reengrasables y sobredimensionados con doble sello en armazones 143T al 255T y un sello en tamaños desde 284T hasta 3449 con tapas -balero en fundición gris. Cuenta con dispositivos de lubricación. Aliente a la entrada y tubo de alivio de grasa a la salida para facilitar su mantenimiento. Son equipados en lado de accionamiento y lado del ventilador con sellos tipo V-Ring, además son suministrados con provisiones para sello tipo Inpro/Seal® en ambos lados.

Lubricación – Grasa a base de políurea especialmente formulada para altas temperaturas es utilizada para proporcionar hasta cuatro veces la vida de lubricación de otras grasas.

Caja de conexiones – Construida en fundición de fierro gris, con dimensiones mayores a los estándares industriales, seccionada en forma diagonal y con capacidad de girar en intervalos de 90° para facilitar su conexión. Dispositivo de puesta a tierra dentro de la caja y terminales clara y permanentemente marcadas.

Resistencia a la corrosión – Construcción en fundición de fierro gris ventilador de polipropileno, tornillería galvanizada, pintura esmalte alquidat modificado y placa de datos de aluminio resistente a la corrosión.

Figura 25. Características del motor trifásico seleccionando.
Fuente: (Siemens, 2013).

Tabla 4
Propiedades del Motor seleccionado.

Motores uso severo

SD100 (carcasa de fundicion de hierro)

Eficiencia NEMA Premium®

Rotor de aluminio

HP	Polos	Armazon	Voltaje (Volts)	Tipo	Corriente [A] 460V	Eficiencia Nominal %	Factor de potencia %	Torque [Lb- Ft]	Peso Kg.	Numero de parte	Precio M.N.	Precio M.N.	Precio M.N.
											\$	\$	\$
1	2	143T	208-230/460	SD100	1.4	82.5	81.1	1.5	39	A7B10001014731	6,539	7,032	7,186
	4	143T	208-230/460	SD100	1.4	85.5	78.2	3	39	A7B10001014732	6,991	7,518	7,683
	6	145T	208-230/460	SD100	1.6	82.5	70.9	4.5	38	A7B10001014734	7,810	8,398	8,583
	8	182T	208-230/460	SD100						A7B10001016457	8,657	9,309	9,514
1.5	2	143T	208-230/460	SD100	2	84	83.6	2.2	41	A7B10001014733	6,632	7,132	7,288
	4	145T	208-230/460	SD100	2.1	86.5	77.3	4.5	38	A7B10001014735	7,212	7,755	7,926
	6	182T	208-230/460	SD100	2.4	87.5	66.9	6.8	55	A7B10001014738	8,669	9,322	9,527
	8	184T	208-230/460	SD100						A7B10001016458	9,755	10,490	10,720
2	2	145T	208-230/460	SD100	2.5	85.5	87.6	2.9	39	A7B10001014736	7,882	8,476	8,662
	4	145T	208-230/460	SD100	2.8	86.5	77.3	6	38	A7B10001014737	7,621	8,195	8,375
	6	184T	208-230/460	SD100	3.2	88.5	66.1	9.1	60	A7B10001014741	9,657	10,384	10,613
	8	213T	208-230/460	SD100						A7B10001016459	11,303	12,154	12,421
3	2	182T	208-230/460	SD100	3.8	84	85.5	4.4	61	A7B10001014739	8,855	9,522	9,731
	4	182T	208-230/460	SD100	4	87.5	78.5	9	60	A7B10001014740	8,537	9,180	9,382
	6	213T	208-230/460	SD100	4.3	87.5	73	13.4	80	A7B10001014744	11,955	12,855	13,138
	8	215T	208-230/460	SD100						A7B10001016460	15,594	16,768	17,137
5	2	184T	208-230/460	SD100	6	88.5	88.2	7.5	59	A7B10001014742	11,114	11,951	12,214
	4	184T	208-230/460	SD100	6.5	89.5	80.5	15	61	A7B10001014743	9,919	10,666	10,900
	6	215T	208-230/460	SD100	6.7	89.5	78.1	26.5	87	A7B10001014747	17,130	18,420	18,825
	8	254T	208-230/460	SD100						A7B10001014750	22,950	24,678	25,220

Fuente: (Siemens, 2013).

Para la instalación o cambio del motor se presentaron los inconvenientes mencionados anteriormente, el primero consistió en darle solución al problema de altura o separación entre el motor y el rotor del ventilador, para esto se diseñó una especie de puente encargado de subir el ventilador, este fue diseñado para agarrarse de la carcasa del ventilador y unirse a esta por medio de tornillos, ver figura 26.

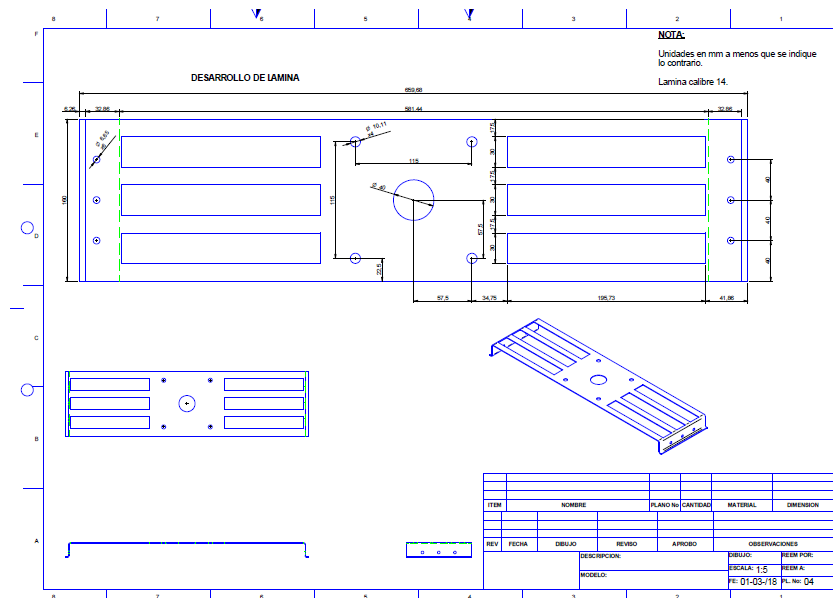


Figura 26. Estructura diseñada para elevar el rotor del ventilador.

Fuente: Propia.

El cual fue fabricado en ángulos de acero A36 y quedo de la siguiente manera, ver figura 26.

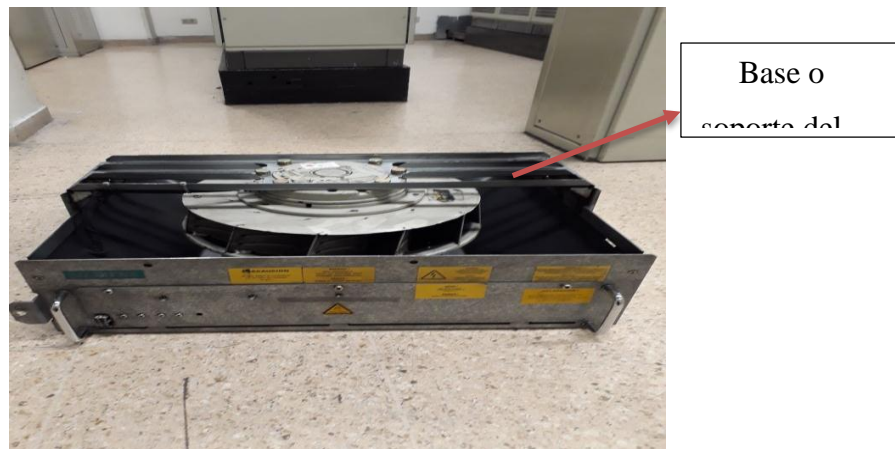


Figura 27 . Soporte del ventilador para elevarlo.

Fuente: Propia.

Para dar solución a los otros problemas mencionados en la metodología, como el plato de sujeción y el buje de unión, se diseñaron y realizaron planos detallados de estos componentes que formaran parte del sistema de ventilación forzada, ver figura 27 y 28; Estos se realizaron en SOLID EDGE ST6 (software CAD).

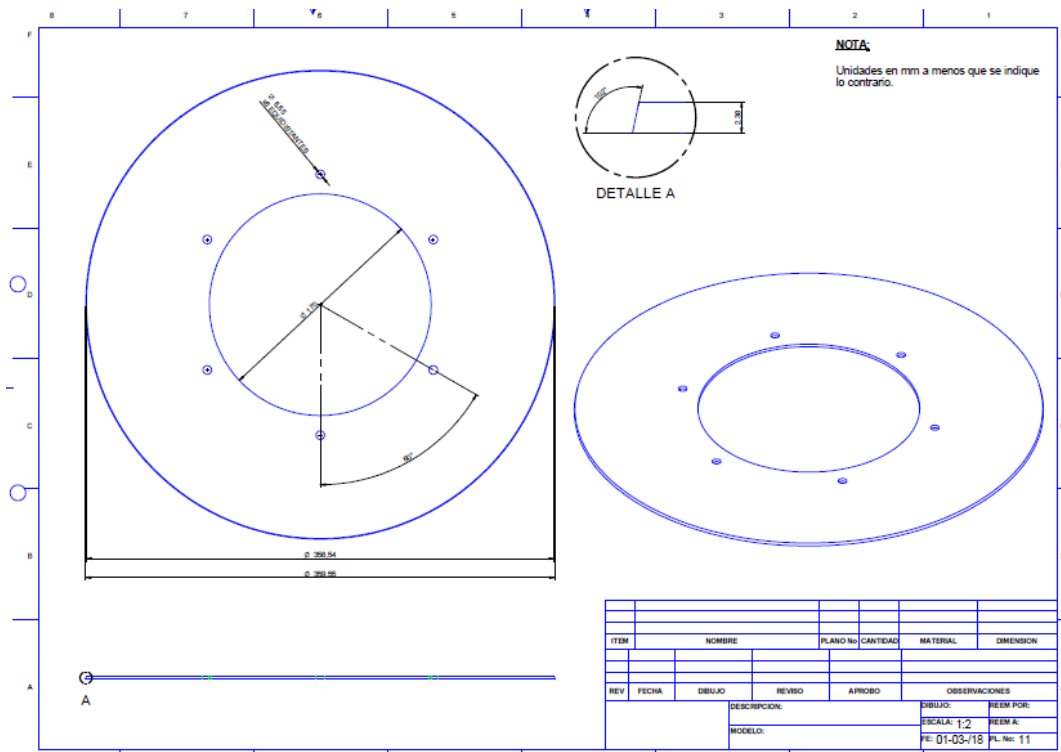


Figura 28. Plato o disco de unión al rotor del ventilador
Fuente: Propia.

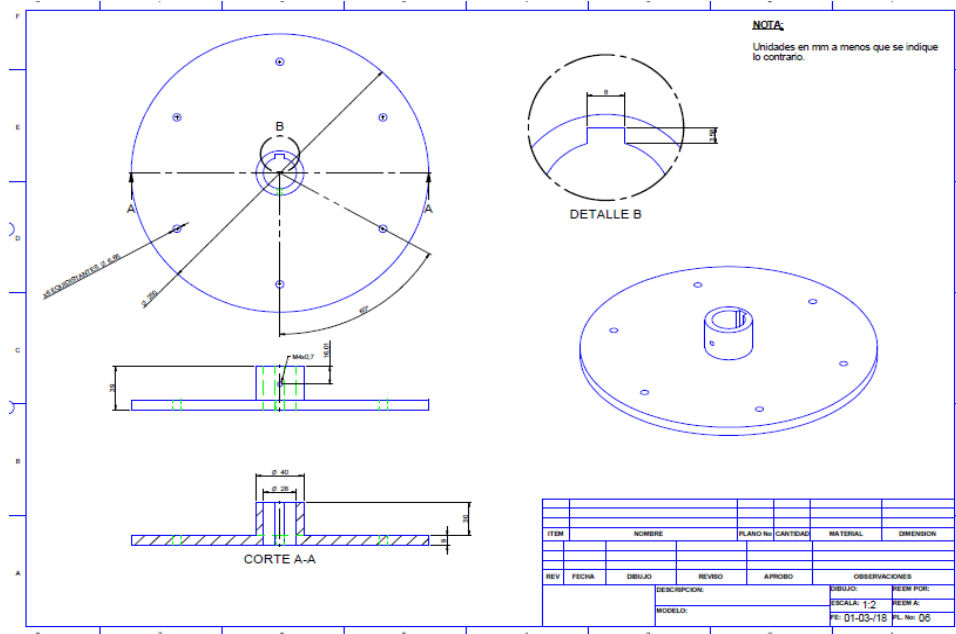


Figura 29. Plato con buje.
Fuente: Propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

Luego de tener las medidas de las piezas a fabricar con sus correspondientes planos, se procedió con la fabricación y el mecanizado de los elementos faltantes para el ensamble, como se utilizaron muchos de los componentes del sistema original de ventilación, solo fue necesario maquinar el plato de acople entre el eje del motor y el rodete del ventilador, ver figura 29 y el buje que sirve de unión entre el eje y el plato, ver figura31; para esta labor se utilizó uno de los tornos del laboratorio de máquinas del ITM.



Figura 30. Fabricación de disco o plato de unión.
Fuente: Propia.

Este plato o disco con orificios fue fabricado en acero A36, encargado de unir esto dos elementos, además de un buje, con diámetros diferentes para realizar el acople entre el eje y el disco, el plato se lleva al taladro vertical, se sujeta con unas bridas y tornillos en la mesa del taladro, se le busca el centro a la máquina, para proceder a realizar 6 de M6 x 25mm x 1.0 estas perforaciones son equidistantes que coincidan con las perforaciones del rotor del ventilador, ver figura 31.

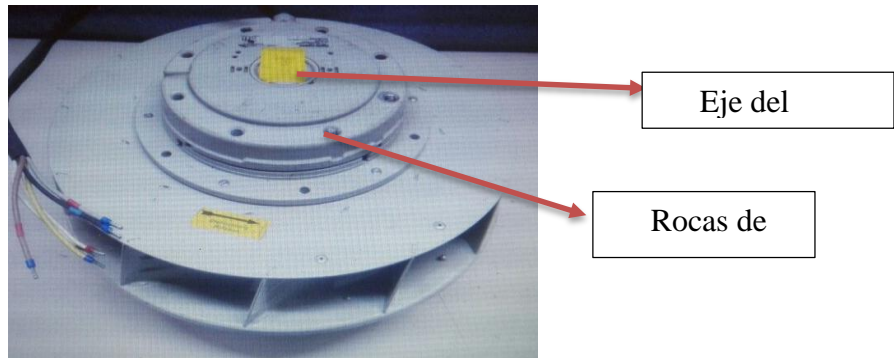


Figura 31. Parte trasera del ventilador.
Fuente: Propia.

El buje también fue diseñado en el laboratorio de mecanizado del ITM, encargado de unir el eje del motor con el palto, el cual estará sujeto por medio de una cuña en la parte del eje y un tornillo prisionero en la parte del disco.



Figura 32. Fabricación de buje de unión
Fuente: Propia.

Luego se presentó otro problema que era mantener la concéntrica, para evitar el juego lateral entre las partes, para esto se llevó el ventilador aun torno y se procedió a revisar la concéntrica entre el plato o disco y el rotor del ventilador, ver figura 32 y 33.

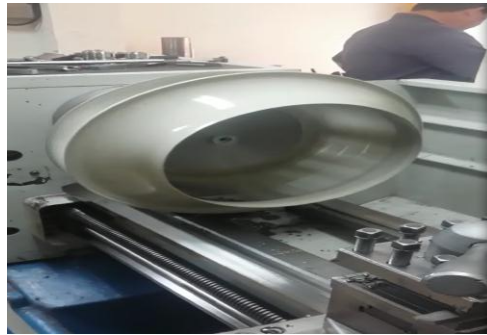
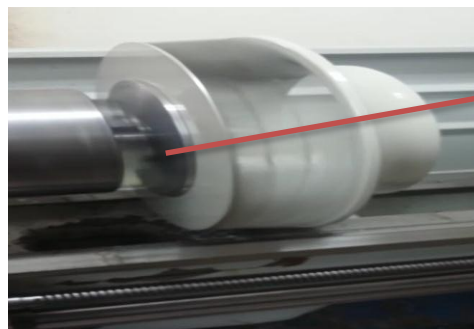


Figura 33. Ventilador montado en el torno.
Fuente: Propia.



Plato de

Figura 34. Verificación de la concéntrica entre el disco, rotor del ventilador y eje
Fuente: Propia.

Posteriormente se instaló el motor, conectando su eje al buje y el plato y al ventilador, pero apareció otro problema, existía mucha vibración y por lo tanto ruido, para esto se decidió instalar una platina 90⁰, ver figura 34 y 35.

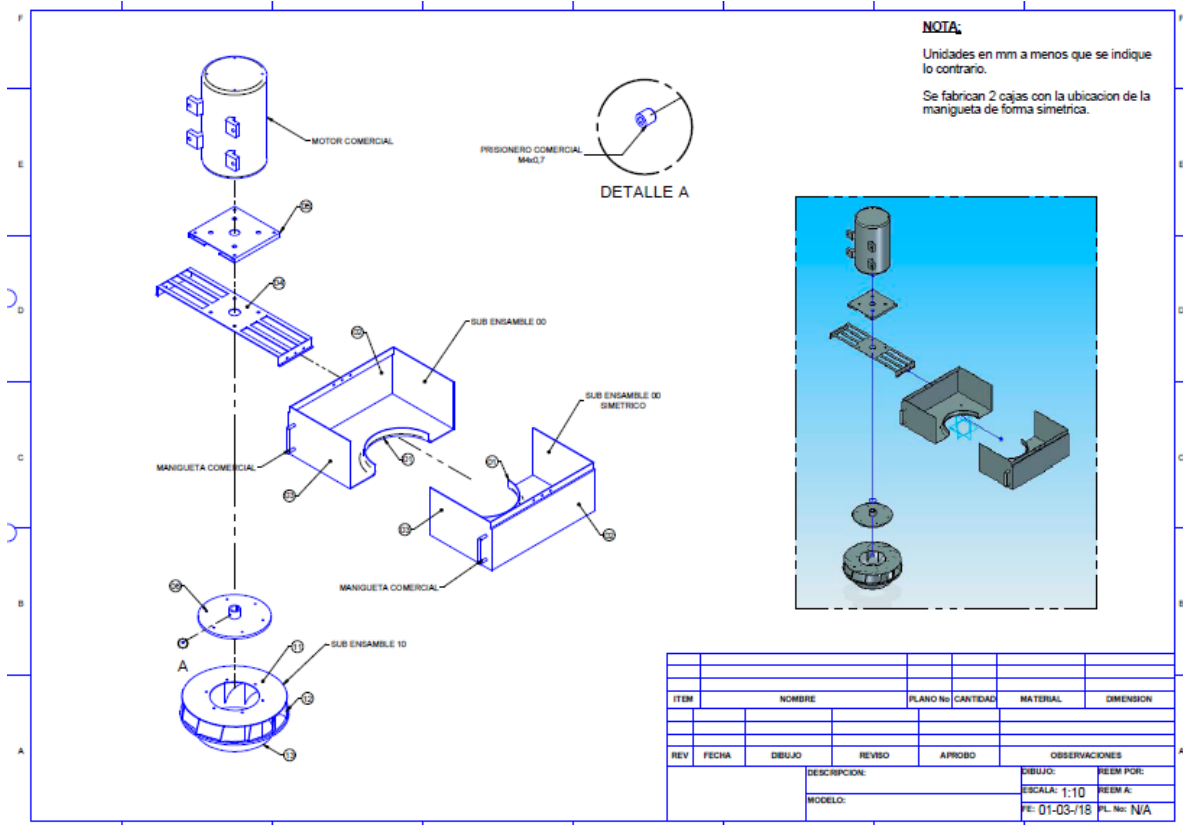


Figura 35. Ensamble de los componentes del sistema de ventilación.
Fuente: Propia.



Figura 36. Platina a 900 para evitar vibración.
Fuente: Propia.

Por último se realizaron pruebas de verificación del sistema, para verificar el correcto funcionamiento de sus componentes, además se tomaron los mismos datos anteriores al desarme para verificar que estén dentro de los límites indicados y de diseño. Por lo tanto se inició con una inspección visual del ventilador y sus accesorios, si se escuchaban ruidos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

extraños, y que no se emitan olores que pudieran indicar alguna anomalía eléctrica o mecánica, ver figura 37.



Figura 37 . Verificación visual del sistema en funcionamiento.
Fuente: Propia.

A su vez se realizaron otras pruebas como:

- ✓ Prueba de medida de caudal
- ✓ Prueba de velocidad de giro
- ✓ Prueba de nivel de ruido o decibeles de funcionamiento
- ✓ Prueba de temperatura

En las pruebas de funcionamiento se arrancó el ventilador a caudal nominal durante un tiempo determinado y se verificó el funcionamiento estable del sistema, determinando el caudal extraído, la cual se realiza evaluando la velocidad del aire en m/s con el anemómetro, ver figura 38y 39.



Figura 38. Velocidad del viento medida con anemómetro
Fuente Propia.



Figura 39. Velocidad y temperatura del aire.
Fuente: Propia.

Se verifico la temperatura de la tarjeta, sin el sistema de ventilación funcionando y posteriormente con el sistema trabajando, para estas pruebas de temperatura, se puso el sistema en funcionamiento durante un tiempo determinado y posterior a ello se apagó para verificar las temperaturas de las tarjetas del variador, con la pistola ubicada aproximadamente de 0,30 a 0,50 metros en las tres tarjetas. Las pruebas se realizaron a diferentes revoluciones; 600 rpm, 1800 rpm y 3600 rpm de los ventiladores del túnel, es decir, a diferentes condiciones de trabajo del variador que se está refrigerando, ver figuras 40 y 41.



Figura 40. Temperatura de trabajo de la tarjeta sin sistema de ventilación.
Fuente: Propia.



Figura 41. Temperatura de la tarjeta con el sistema de ventilación

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

Fuente: Propia.

Los resultados obtenidos en las pruebas de ruido o decibeles, fueron las siguientes, ver figura 42.



Figura 42. Decibeles del sistema en funcionamiento.

Fuente Propia.

Pruebas de velocidad del aire y temperatura con el sistema nuevo en funcionamiento, ver figura 43 y 44.



Figura 43. Velocidad y temperatura del aire extraído

Fuente: Propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09



Figura 44. Velocidad y temperatura del aire extraído 2
Fuente: Propia.

En las pruebas de medidas eléctricas, se midió el voltaje y la corriente en cada una de las fases eléctricas de alimentación al motor del ventilador, con un voltímetro se verificó que el selector o perilla este ubicado correctamente, para obtener medidas más precisas y poder observar si hay variación en el voltaje, esto con el fin predecir los posibles costos de operación, ver figura 45.



Figura 45. Amperaje en la línea de alimentación del sistema de ventilación.
Fuente: Propia.

Por último el sistema de ventilación forzada mejorado quedó de la siguiente forma, ver figura 45.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

En este proyecto se desarrolla un sistema de ventilación por convección forzada, para los variadores de velocidad del sistema de extracción y ventilación del Túnel Fernando Gómez Martínez, con el cual se dará solución al problema de recalentamiento en las tarjetas del variador de velocidad y se reducen los costos de mantenimiento y reparación del sistema.

Se espera que en un futuro los otros tres sistemas de ventilación también sean mejorados, garantizando la extracción eficiente de los gases producto de la combustión del parque automotor que transita diariamente por el túnel.

Con la realización de este proyecto, se pudo identificar la importancia de adquirir instrumentos y maquinaria comercial para no tener inconvenientes al momento de necesitar un repuesto, y no ver interrumpido como en este caso, el funcionamiento del motor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cañadas, M. (2002). *Schneider Electric*. Obtenido de
file:///C:/Users/W/Desktop/ventilacion%20tunnel/Iniciacion%20variadores%20de%20velocidad.pdf
- cstequipment. (s.f.). *www,cstone.cl*.
- Echeverry, C. A. (1992). *Ventilacion Industrial*. España: Printed.
- Electricos, M. (2017). Obtenido de
file:///C:/Users/W/Desktop/ventilacion%20tunnel/motores%20electricos.pdf
- Escoda, S. (2000). *Manual practico de ventilacion*. Barcelona: S&P.
- Fernandez, D. M. (5 de Octubre de 2011). *http://www.atmosferis.com/*.
- Fluke. (1995). *Fluke*. Obtenido de Fluke 62 Mini Infrared Thermometer:
<http://www.fluke.com/fluke/mxes/Termometros/Termometros-por-infrarrojos/Fluke-62.htm?PID=56096>
- fluke. (1995). *www.fluke.com*.
- Fonseca, S., & Ospina, H. (19 de 11 de 2012). *Prezi.com*. Obtenido de VENTILADORES AXIALES: <https://prezi.com/auplvsyh6por/ventiladores-axiales/>
- Franco. (05 de Enero de 2016). *Sistema de ventilación Industrial / Francor*. Recuperado el 12 de enero de 2018, de <http://francor.com.mx/>
- franco.com.mx. (05 de Enero de 2016). *Sistema de ventilación Industrial / Francor*.
- graifer. (s.f.). *www.grainfer.com*.
- Grainger. (1994). *Grainger*. Obtenido de <https://www.grainger.com/product/METERMAN-Anemometer-4GU19>
- Grainger. (1994). *Grainger*. Obtenido de General Catalog:
<https://www.grainger.com/product/METERMAN-Anemometer-4GU19>
- Grainger. (1994). *www.grainger.com*. Obtenido de www.grainger.com(4GU19 TMA10)
- Grainger. (s.f.). *www.grainger.com*.
- <https://es.images.search.yahoo.com> . (s.f.). Obtenido de imagenes.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

- HVAC&R. (2006). Recuperado el 23 de febrero de 2018, de
<https://www.mundohvacr.com.mx/2006/02/carga-de-enfriamientocalor-ganado-por-equipos-y-accesorios-electricos/>
- Incropera, F. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. Mexico: Prentice Hall.
- Industrial, V. (19 de 05 de 2010). Recuperado el 12 de enero de 2018, de
<http://ventilacionindustrialunipaz.blogspot.com.co/>
- Londoño, C. A. (2011). *Ventilacion industrial*. Medellin: Universidad de Medellin.
- Melexa. (s.f.). www.melexa.com.
- Overblog. (02 de 09 de 2011). *Overblog*. Obtenido de ¿Qué es un ventilador centrífugo?: explicación sencilla: https://es.overblog.com/Que_es_un_ventilador_centrifugo_explicacion_sencilla-1228321783-art336025.html
- Palau, S. &. (s.f.). www.solerpalau.es.
- Peña, M. C. (20 de noviembre de 2010). *slideshare*. Obtenido de
<https://www.slideshare.net/cargaspemu/ventilacin-industrial>
- Rodriguez, A. (25 de octubre de 2012). *instrumentacionhoy.com*. Obtenido de Tacómetro digital: <http://www.instrumentacionhoy.com/tacometro-digital/>
- Siemens. (2013). Recuperado el 23 de febrero de 2018, de
https://w5.siemens.com/cms/mam/industry/Documents/Lista_Motores_2013.pdf
- Soler & Palau. (08 de 2011). *Catálogo S&P 2011*. Puebla, México: Soler & Palau.
Obtenido de
<http://www.fmcm.com.mx/manuales/Soler&Palau/Comercial%20e%20Industrial.pdf>
- Trumeter. (2017). <http://www.directindustry.es> (9300). Obtenido de
<http://www.directindustry.es/prod/trumeter/product-5953-1295551.html> (9300)
- Trumeter. (2017). www.directindustry.es/prod/trumeter/product. Obtenido de
www.directindustry.es/prod/trumeter/product
- UTN. (14 de septiembre de 2017). Obtenido de
http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs/APUNTES_MAQUINAS_ELECTRICAS-_U_3_v1.1.pdf

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

V, I. V. (3 de septiembre de 2013). *es.slideshare.net*.

Véliz, I. A. (3 de septiembre de 2013). *es.slideshare.net*.

Ventilación, a. T. (2010). Obtenido de www.airtectiv.com/ventiladores-axiales/

ventilación, A. T. (2010). *Airtec, tecnologia en ventilacion* . Obtenido de

www.airtectiv.com/ventiladores-centrifugos

ventilacionindustrialunipaz.blogspot.com.co. (17 de 05 de 2010). Obtenido de

ventilacionindustrialunipaz.blogspot.com.co.

www.extractores.com.mx. (s.f.). Obtenido de www.extractores.com.mx:

ventiladores@hotmail.com

www.mfelectromecanicos.com. (s.f.). Obtenido de www.mfelectromecanicos.com.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2018-03-09

FIRMA ESTUDIANTES Daniela Mercedes Echeburgo

 [Signature]

FIRMA ASESOR [Signature]

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO _____ ACEPTADO _____ ACEPTADO CON
 MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____