

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA
MOTOCOMPRESORES UTILIZADOS EN REFRIGERACION Y
AIRE ACONDICIONADO**

**LUZMILA HERAZO DILSON
RAFAEL ARTURO LLINAS TORRES**

**CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
CARTAGENA D. T. y C.**

1995

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA
MOTOCOMPRESORES UTILIZADOS EN REFRIGERACION Y
AIRE ACONDICIONADO**

**LUZMILA HERAZO DILSON
RAFAEL ARTURO LLINAS TORRES**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero Mecánico.

**Director: HELBERT A. CARRILLO
ING. MECANICO**

**CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
CARTAGENA D. T. y C.**

1995

Cartagena, Octubre 20 de 1.995

Señores:

**CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR
DECANATURA DE INGENIERIA MECANICA**

Apreciados señores:

Adjunto a la presente, hacemos la entrega de nuestro proyecto de grado titulado
"DISEÑO, CONSTRUCCION Y MONTAJE DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA MOTOCOMPRESORES, UTILIZADOS EN REFRIGERACION Y AIRE ACONDICIONADO".

El cual supe el requisito para optar por el titulo de INGENIERO MECANICO.

Atentamente,

LUZMILA HERAZO DILSON
Cod. 9203489

RAFAEL LLINAS TORRES
Cod. 8903077

Cartagena, Octubre 20 de 1.995

Señores:

**CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR
DECANATURA DE INGENIERIA MECANICA**

Apreciados señores:

Con la presente se hace entrega del proyecto de grado titulado "**DISEÑO, CONSTRUCCION Y MONTAJE DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA MOTOCOMPRESORES , UTILIZADOS EN REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO.**"

Del cual he sido Director del proyecto.

Atentamente,

HELBERT A. CARRILLO
Ing. Mecánico

ARTICULO 105

La corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización. Esta observación debe quedar impresa en parte visible del proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

A nuestros padres, que por medio de sus esfuerzos y apoyo nos brindaron y
ciñeron las pautas y normas de una vida recta.

A todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron en la realización
del presente trabajo como el Ingeniero ALONSO GAVIRIA, JAVIER TORRES
y demás colaboradores.

NOTA DE ACEPTACION

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

Octubre 20 de 1.995

RESUMEN

En la formación profesional del ingeniero, así como también de técnicos, es importante la realización de prácticas de laboratorio, por lo que este trabajo de grado consta de un estudio teórico en complementación al banco de prueba para motocompresores utilizados en refrigeración y aire acondicionado.

A través del estudio se detallan los aspectos y características mas importantes para el correcto funcionamiento de estas unidades; el banco de pruebas permite medir y controlar las variables de operación, como voltaje, amperaje, continuidad y compresión que son necesarias para el buen funcionamiento de una unidad motocompresora. El diseño de los circuitos eléctricos de pruebas, obedece a la necesidad de alimentación de las máquinas de acuerdo a su capacidad, y las especificaciones técnicas de operación hechas por los fabricantes a través de sus catálogos; de tal manera que el banco de prueba consta de un circuito de alimentación o poder y tres circuitos de arranque de unidades.

El primer circuito (110V) monofásico y los otros dos (220V) monofásico y trifásico y se encuentran especificados sobre las tomas respectivas, ubicadas en el tablero del banco de pruebas. Los elementos o dispositivos de protección, arranque y marcha se han seleccionados para ofrecer alto par de arranque,

condición importante cuando se presenta situaciones de rotor trabado.

Se pueden realizar las pruebas de capacidad de compresión de las unidades, pruebas de tipo eléctrico, siguiendo las especificaciones que se indican en el manual de pruebas del laboratorio.

La estudio dinámico de las vibraciones que incluye este trabajo, es un aporte valioso para el mantenimiento de estas unidades; consta específicamente de la determinación de los parámetros normales de operación o establecimiento de las máximos niveles de vibración inherentes al correcto funcionamiento de estas máquinas, que se obtuvo a través de mediciones hechas a unidades nuevas de diferente capacidad, en condiciones libres de carga; de tal forma que los datos obtenidos son de gran confiabilidad; estas mediciones fueron tomadas en todas las direcciones posibles y debidamente aisladas las máquinas, para impedir la filtración de frecuencias distintas y evitar ser captadas por los sensores.

También se realizaron mediciones en condiciones de operación de estas maquinas dentro de un sistema, para analizar las posibles desviaciones que por efecto del montaje mismo pueden repercutir sobre la estabilidad dinámica.

Las mediciones de vibración no serán posibles realizarlas sobre el banco de pruebas, ya que la adquisición de los equipos de medición no está al alcance de los autores de este proyecto, pero se establecen las características que estos deben poseer y la metodología de tomas de mediciones de vibraciones a través del documento escrito, al igual que las conclusiones respectivas, para que los directivos de la C.U.T.B. decidan el montaje cuando así lo consideren.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	
RESUMEN	
1 COMPRESORES	
1.1 FUNCIONAMIENTO BASICO DEL COMPRESOR	
1.2 COMPRESORES ALTERNATIVOS	
1.3 CLASIFICACION DE LOS COMPRESORES ALTERNATIVOS	
1.3.1 compresores de tipo abierto	
1.3.2 motocompresores semiheméticos	
1.3.3 motocompresores herméticos	
2. COMPONENTES ELECTRICOS Y MEDIDORES DE LOS MOTOCOMPRESORES	
2.1 TRANSFORMADORES	
2.2 RELES	
2.3 CONTACTORES	
2.4 ARRANCADORES	
2.5 MOTORES	
25.1 MOTORES MONOFASICOS	
2.5.1.1 motores de fase partida	

- 2.5.1.2 motores con capacitor de arranque o por inducción con capacitor de arranque
- 2.5.1.3 motor Con capacitor permanente
- 2.5.1.4 motor con capacitor de arranque, capacitor de operación
- 2.5.1.5 motor de inducción
- 2.6 PROTECTORES DEL MOTOR
- 3. CONDICIONES DE OPERACIÓN NORMAL EN LOS MOTOCOMPRESORES
 - 3.1 TEMPERATURA DEL MOTOR
 - 3.2 AMPERAJE
 - 3.3 VOLTAJE Y FRECUENCIA
 - 3.4 ARRANQUE CON VOLTAJE REDUCIDO
- 4. INSTALACION Y ARRANQUE
 - 4.1 GENERALIDADES
 - 4.2 CODIGOS, ORDENANZAS Y NORMAS
 - 4.3 COLOCACION DEL EQUIPO
 - 4.4 CARGA DEL SISTEMA
- 5. CAUSAS COMUNES EN LAS FALLAS DE LOS MOTOCOMPRESORES
 - 5.1 FALLAS ELECTRICAS
 - 5.2 FALLAS MECANICAS
 - 5.2.1 Retorno de refrigerante líquido
 - 5.2.2 Partidas inundadas
 - 5.2.3 Golpes de líquidos
 - 5.2.4 Recalentamiento del motocompresor
 - 5.3 PROCEDIMIENTOS INADECUADOS DE INSTALACION

- 5.3.1 Daños por ácidos
- 5.3.2 Daños por hacer un vacío inadecuado en tiempo y calidad de vacío
- 5.3.3 Daños por sobrecarga de refrigerante
- 5.3.4 Falta de protección del compresor
- 5.3.5 Controles de alta y baja presión
- 5.4 DAÑOS POR OPERACIÓN INADECUADAS
- 6. VIBRACIONES DE LOS MOTOCOMPRESORES
- 6.1 GENERALIDADES
- 6.2 VIBRACIONES
- 6.3 CLASES DE VIBRACIONES
- 6.4 EL MECANALISIS
- 7. ANALISIS DE LA VIBRACION
- 7.1 ASPECTOS GENERALES
- 7.2 MEDICION DE LA VIBRACION
- 7.2.1 Amplitud
- 7.2.2 Frecuencia
- 7.2.3 Angulo de fase
- 7.2.4 Forma de la onda
- 7.3 PARAMETROS DE MEDICION
- 7.4 TIPOS DE MEDICION
- 7.5 SENSORES UTILIZADOS EN LOS DIFERENTES
PARAMETROS DE MEDICION
- 7.5.1 Sensor de no contacto de proximidad
- 7.5.2 Transductores sísmicos o de velocidad
- 7.5.3 Acelerómetro
- 8. DISEÑO Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS

- 8.1 CONSTRUCCION DEL MUEBLE
 - 8.2 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE PRUEBA
 - 8.2.1 Calculo de la corriente, selección de conductores
 - 8.3 ESTUDIO DE VIBRACIONES PARA EL BANCO DE PRUEBA
 - 8.3.1 Toma de medidas en unidades nuevas
 - 8.3.2 Toma de medidas en unidades usadas
 - 8.4 SELECCION DEL EQUIPO DE MEDICION DE VIBRACION, PARA EL BANCO DE PRUEBAS
 - 9. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y FALLA
 - 9.1 POSIBLES FALLAS
 - 9.2 TIPOS DE FALLAS Y POSIBLES CAUSAS
 - 9.3 NORMAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO
 - 9.4 MANTENIMIENTO Y CONTROL
 - 10. MANUAL DE LABORATORIO
 - 10.1 OBJETIVOS
 - 10.2 PRUEBAS DEL COMPRESOR
 - 10.2.1 Pruebas del compresor a tierra
 - 10.2.2 Pruebas de bobinados abiertos
 - 10.2.3 Pruebas de rotor bloqueado
 - 10.3 PRUEBAS DE COMPRESION
 - 10.3.1 Fundamentación teórica
 - 10.3.2 Determinación de presiones
 - 11. CONCLUSION
- BIBLIOGRAFIA
- ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

- FIG. 1 SISTEMA DE REFRIGERACION SIMPLE
- FIG. 2 TRANSFORMADOR
- FIG. 3 RELE
- FIG. 4 RELE POTENCIAL DE ARRANQUE
- FIG. 5 PRINCIPIO DE INDUCCIÓN DEL CAMPO MAGNETICO
- FIG. 6 MOTOR DE FASE PARTIDA
- FIG. 7 MOTOR CON CAPACITOR DE ARRANQUE
- FIG. 8 MOTOR CON CAPACITOR PERMANENTE
- FIG. 9 MOTOR CON CAPACITOR DE ARRANQUE Y
CAPACITOR DE OPERACION
- FIG. 10 MOTOR DE INDUCCIÓN
- FIG. 11.a RESPUESTA A LA TEMPERATURA
- FIG. 11.b PROTECTOR TERMICO DE RESPUESTA DUAL,
INTERRUPTOR DE LÍNEA
- FIG. 12 PROTECTOR TERMICO DE RESPUESTA DUAL
- FIG. 13 CARACTERISTICA DE LA VIBRACION
- FIG. 14 COMPORTAMIENTO DE LOS SENSORES
- FIG. 15 CIRCUITO DE PODER
- FIG. 16 CIRCUITO 110V MONOFASICO
- FIG. 17 CIRCUITO 220V MONOFASICOS

FIG. 18 CIRCUITO 220V TRIFASICO

ANEXOS

ANEXO 1	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION
ANEXO 2	COMPRESOR ABIERTO
ANEXO 3	COMPRESOR SEMIHERMETICO
ANEXO 4	COMPRESOR HERMETICO
ANEXO 5	COMPRESOR CON MOTOR CSIR
ANEXO 6	COMPRESOR CON MOTOR PTCSCR
ANEXO 7	COMPRESOR CON MOTOR CSCR-CSIR
ANEXO 8	IDENTIFICACION DE COMPRESORES
ANEXO 9	ECUACION SENOSOIDAL DE ONDA VIBRATORIA
ANEXO 10	SENSOR DE NO CONTACTO O DE PROXIMIDAD
ANEXO 11	SISTEMA TRANSDUCTORES SISMICOS O DE VELOCIDAD
ANEXO 12	ACELEROMETRO
ANEXO 13	CATALOGOS COPELAWELD
ANEXO 13.a	SELECCION DE UNIDADES MOTOCOMPRESORAS
ANEXO 13.b	SELECCION DE COMPONENTES ELECTRICOS
ANEXO 13.c	NORMA ICONTEC 2050, SECCION 440
ANEXO 14	TABLAS DE SEVERIDAD
ANEXO 15	CATALOGOS-EQUIPOS DE MEDICION DE

VIBRACIONES

ANEXO 15.a BENTLY NEVADA

ANEXO 15.b IRD MECHANALYSIS

ANEXO 15.c CSI COMPUTACIONAL SISTEM INCORPORATED

ANEXO 16 MEDICIONES VIBRATORIAS

ANEXO 16.a UNIDADES NUEVAS

ANEXO 16.b UNIDADES USADAS

INTRODUCCION

Este trabajo de grado es un estudio teórico-práctico completo de los motocompresores utilizados en refrigeración y aire acondicionado; para entrar a reforzar los conocimientos teóricos adquiridos a través de las prácticas de laboratorios.

A través del contenido se muestran en forma clara y concisa los aspectos mas importantes en cuanto a principio de funcionamiento e instalación y arranque; haciendo énfasis en las condiciones de operación y buen funcionamiento, a través del control de las variables que son determinantes para la puesta en marcha de estos equipos.

La parte práctica de este trabajo está dirigida específicamente a la comprobación y verificación de variables de tipo eléctricos y mecánicos a nivel de laboratorio. Las mediciones eléctricas se pueden efectuar hasta un máximo de 5 HP; en las mediciones mecánicas solo se efectúan las de compresión en tanto que las mediciones de vibración quedarán a disposición de los directivos de la C.U.T.B., que decidirán acerca de la adquisición de los equipos de medición, ya que no están al alcance de los autores de este proyecto; quienes proporcionan todas las características y recomendaciones necesarias, además de los procedimientos de medición, a través del contexto de este trabajo de grado.

1. COMPRESORES

Un compresor es aquella máquina que mediante dispositivos y mecanismo internos es utilizado para elevar la presión de un fluido.

Existen tres tipos de compresores; alternativos, rotativos y centrífugos. Los compresores centrífugos son utilizados ampliamente en grandes sistemas centrales de acondicionamiento de aire y los giratorios se utilizan en el campo de los refrigeradores domésticos; sin embargo la inmensa mayoría de compresores utilizados en tamaño de mayor caballaje para las aplicaciones comerciales, domésticas e industriales son reciprocantes.

El compresor tiene dos funciones en el ciclo de refrigeración por compresión; en primer lugar succiona el vapor refrigerante y reduce la presión en el evaporador a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de evaporación deseada. En segundo lugar el compresor eleva la presión del vapor refrigerante a un nivel lo suficientemente alto de modo que la temperatura de saturación sea superior a la temperatura del medio enfriante disponible para la condensación del vapor refrigerante. (Ver figura 1).

1.1 FUNCIONAMIENTO BASICO DEL COMPRESOR

En el anexo 1 representa una vista en sección transversal de un motocompresor copelametic típico, ofreciendo a continuación una somera descripción de su funcionamiento.

En la carrera descendente del pistón cuando se mueve hacia abajo presentado la succión se reduce la presión en el cilindro y cuando la presión del cilindro es menor que la de la línea de succión del compresor, la diferencia de presión motiva la apertura de las válvulas de succión y fuerza al vapor refrigerante a que fluya al interior del cilindro.

Cuando el pistón alcanza el fin de la carrera de succión, e inicia ascendentemente la carrera de compresión creando una presión en el cilindro, forzando el cierre de las válvulas de succión, la presión continua elevándose a medida que sube el pistón, comprimiendo el vapor atrapado en el; cuando se iguala la presión y excede a la existente a la línea de descarga, esta válvula se abre y el gas comprimido fluye hacia la tubería de descarga y al condensador.

Nuevamente se inicia el ciclo cerrándose la válvula de descarga y repitiéndose la misma característica, en cada revolución del cigueñal, se produce una carrera de succión y otra de compresión de cada pistón.

1.2 COMPRESORES ALTERNATIVOS

El diseño del compresor alternativos es algo similar a un motor de automóvil; con un pistón accionado por un cigueñal que realiza carreras alternas de succión y compresión en un cilindro provisto de válvulas de succión y descarga, puesto

que el compresor reciprocante es una bomba de desplazamiento positivo, resulta apropiado para volúmenes de desplazamiento reducido; y es muy eficaz a presiones de condensación elevada y en altas relaciones de compresión.

Otras ventajas es su adaptabilidad a diferentes refrigerantes, la facilidad con que permite el desplazamiento del líquido dada la elevada presión creada por el compresor, su durabilidad, la sencillez de su diseño y un costo relativamente bajo

1.3 CLASIFICACION DE LOS COMPRESORES ALTERNATIVOS

1.3.1 Compresores de Tipo Abierto. Son aquellos que tienen los pistones y cilindros sellados en el interior de un cárter, y un cigueñal extendiéndose a través del cuerpo hacia afuera para ser accionado por una fuerza externa, mediante acoplamientos directos o correas, un sello en torno del cigueñal evita la pérdida de refrigerante y de aceite del compresor; estos compresores fueron ampliamente utilizados pero debido a sus desventajas inherentes tales como: mayor peso, costo superior, mayor tamaño, vulnerabilidad a falla de los sellos, difícil alineación del cigueñal, ruidos excesivos y corta vida de las bandas o componentes de acción directa. (Ver anexo 2)

1.3.2 Motocompresores Semihermético. El compresor es accionado por un motor eléctrico montado directamente en el cigueñal del compresor, con todas sus partes tanto del motor como del compresor herméticamente selladas en el interior de una cubierta común; se eliminan los trastornos del sello, los motores pueden calcularse específicamente para la carga que han de accionar y el diseño resultante es compacto, económico, eficiente y básicamente no requiere mantenimiento .

Las cabezas cubiertas del estator, placas del fondo y cubiertas del cárter son desmontables, permitiendo el acceso para sencillas reparaciones en el caso en que se deteriore el compresor. (Ver anexo 3).

1.3.3 Motocompresores Herméticos. Se han creado para lograr una disminución de tamaño y costo y son ampliamente utilizados. Análogamente al semihermético, un motor eléctrico se encuentra montado directamente en el cigueñal del compresor, pero el cuerpo es una carcasa metálica herméticamente sellada con soldadura y ofrecen las ventajas de eliminación de sello en el eje, evitando así la penetración de suciedad, abrasivos, además de la entrada de aire y humedad al sistema; también son más libre de vibración. (Ver anexo 4).

2. COMPONENTES ELECTRICOS Y MEDIDORES DE LOS MOTOCOMPRESORES

En el campo de la refrigeración nos debemos proyectar más que unos circuitos eléctricos simples, puesto que el ingeniero y el técnico deben conocer componentes adicionales, tales como, transformadores, contactores, relés, arrancador, motores, protectores de motor y los medidores necesarios para probar los circuitos.

2.1 TRANSFORMADORES

El efecto de la corriente que pasa a través de una bobina lo cual genera un campo magnético alrededor de la bobina, en un electroimán este campo afecta el núcleo

en el centro de la bobina, y esta induce una fem en la bobina y núcleo central, de igual forma se puede inducir una fem en otra bobina, si esta se coloca adyacente o vecina de la primera. La cantidad de voltaje inducida en la bobina depende del No. de vueltas en la bobina secundaria, al igual que la fuerza del campo entre los dos devanados.

En refrigeración, aire acondicionado y calefacción se utilizan transformadores de tipo reductor, este posee en la bobina secundaria un arrollamiento menor respecto a la bobina primaria por lo que se genera voltaje menor, debido a la corriente mayor que se genera en la bobina secundaria producto del menor número de espiras, esto quiere decir que la relación corriente y número de vueltas en la bobina es inversamente proporcional. (Ver Figura 2)

2.2 RELES

La figura 3 muestra un Relés operado por una fuente de 24V de un transformador reductor, que controla el motor de un compresor a 220V, en este diagrama el Relé actúa como un interruptor que conecta a los 2 circuitos permitiendo que el termostato de bajo voltaje controle la operación del motor en el voltaje de línea.

Cuando el termostato de enfriamiento se satisface el contacto interno se abre, rompiendo el circuito de bajo voltaje de la bobina del Relé, la armadura se suelta del núcleo y los contacto en los circuitos de voltaje de línea se abren apagando el compresor, clasificándose éste como un Relé normalmente abierto. Se utilizan muchos arreglos y tipos de Relés, pero las dos categorías principales son:

- a) Relé de arranque o sobrecargas térmica (Relé de corriente)

b) Relé de marcha (Relé potencial)

a) Un Relé de arranque es esencial en los equipos de arranque de un motor, presentándose en motores monofásicos pequeños, en este caso consiste principalmente en un conjunto de contactos normalmente cerrados conectados en serie con los devanados de arranque del motor. Cuando se cierra el contacto de control, el devanado de arranque y operación del motor se energizan, la bobina del electroimán está en serie con un devanado auxiliar del motor, de tal modo que cuando el motor llega a una velocidad predeterminada se induce suficiente voltaje en el devanado auxiliar, para producir flujo de corriente a través de la bobina.

La fuerza o campo magnético atrae la armadura cargada con resorte lo cual atrae los contactos del Relés de arranque como se observa en la figura 4.

2.3 CONTACTORES

Los contactores pueden clasificarse como Relé de trabajo pesado ya que realizan la misma función de los Relés, esto es, controlan un circuito eléctrico por medio de una bobina magnética en un circuito de bajo voltaje, el cual a su vez opera un componente en el voltaje de línea.

Gracias a su construcción más pesada el contactor es capaz de manejar mayores cantidades de corriente en comparación con el Relé, usualmente el Relé se limita a un máximo de 10 a 15 Amperios, mientras que la capacidad del contactor puede fácilmente exceder los 500 amperios.

2.4 ARRANCADORES

Si no se tiene un control automático de un componente eléctrico, lo más factible es utilizar un arrancador manual de motor, como en el caso de un motor para ventilador o bomba que opere continuamente, o de uno que para o arranca a intervalos frecuentes, su diseño puede ser desde un simple interruptor o botón de presión hasta elaborados aparatos, los cuales proveerán protección para el motor. Otra función es limitar la cantidad de corriente que fluyen al componente; además de controlar por medio de componentes adicionales la operación del sistema.

Para compresores que arrancan sin carga hay arrancadores magnéticos clasificados como arrancadores de voltaje Reducido. Permiten el arranque a un voltaje más bajo que el normal, con el uso de resistencia añadida o autotransformadores colocado en el circuito temporalmente mediante la operación de un Relé.

2.5 MOTORES

Su función es convertir energía eléctrica en mecánica, estos se dividen en dos categorías generales dependiendo del tipo de corriente involucrada, directa o alterna.

Debido a que la mayoría de las aplicaciones en refrigeración son de corriente alterna, se tratan principalmente estos motores; Los motores de corriente alterna se clasifican dependiendo del tipo de potencia usada, en monofásica y

polifásicos (trifásicos).

2.5.1 Motores Monofásicos. Se usan principalmente donde la demanda es para unidades de fracciones de caballos, o donde sólo se dispone de servicios eléctricos monofásico.

Los motores monofásicos se clasifican:

- a) Fase partida
- b) Arranque con capacitor
- c) Capacitor permanente
- d) Capacitor de arranque, capacitor de operación
- e) De inducción

De acuerdo a la definición de torque, que es la fuerza o combinación de fuerzas que produce o tiende a producir rotación, en el caso de un motor eléctrico se define como el producto de ésta fuerza convertido en giro de un objeto, denominándose de carga; la capacidad de un motor es proporcional al torque del motor . Es necesario saber escoger el motor según la necesidad que se tenga ya sea bajo o alto torque de arranque.

Las dos partes principales de un motor son el Rotor y Estator ; el Rotor es la parte giratoria conocida como armadura, la parte estacionaria es el Estator; con base en el principio en que polos similares se repelen y diferentes se atraen, dos polos magnéticos montados en el exterior de la carcasa del motor o Estator, y entre estos dos polos magnéticos está un imán colocado sobre un eje, este imán permanente corresponde al Rotor.

En la figura 5 se muestra como el polo norte del estator atrae el polo sur del imán permanente, ocurriendo debido a que la corriente pasa a través de las bobinas produciendo los polos magnéticos del estator y levantándose campos magnéticos en las bobinas.

Dependiendo de la conexión de los imanes, con las bobinas obtendremos un giro determinado; es decir, que si es invertida la polaridad a un motor que giraba hacia la derecha este girará hacia la izquierda.

2.5.1.1 Motores de Fase Partida. El rotor no siempre inicia la rotación en un motor monofásico que posee un conjunto de devanados en el estator; esta falla en el arranque puede superarse con solo un giro manual inicial impartido, que acelerará el Rotor hasta alcanzar su RPM de operación.

En el motor de fases partidas la capacidad de auto arranque es proporcionada por medio de un segundo devanado en el estator, conocido como devanado de arranque, que posee muchos más espiras que el devanado primario o de operación. este número de espiras adicionales suministra una resistencia, que retarda el flujo de corriente respecto al devanado primario.

El devanado de arranque permanece en el circuito, solo durante el período de arranque que suele tomarse hasta que el motor alcanza el 75% de su velocidad total; punto en el cual se desconecta por medio de un interruptor centrífugo o un Relé (Térmico, corriente o potencial); en el caso de Motocompresores de menos de 1 HP se utilizan térmicos especificados por los fabricantes de acuerdo a la capacidad de la unidad.

El arreglo de los devanados de arranque y operación en el motor de fase partida se muestran a continuación en la figura 6 accionado por un interruptor centrífugo.

2.5.1.2 Motor con Capacitor de Arranque o por Inducción con Capacitor de Arranque. El motor con capacitor de arranque, mostrado en la figura 7 posee un arreglo de devanado de el motor, similar al de un motor de fase partida.

Posee un componente adicional, un capacitor se alumbra en serie con el interruptor centrífugo y el devanado de arranque; En este motor el capacitor de arranque causa una corriente adecuada es decir "adelantada", estando así el devanado de arranque con el devanado de marcha fuera de fase.

El devanado de arranque sale de funcionamiento en cuanto el rotor alcanza el 75% de su velocidad nominal, también sacando a el capacitor fuera del circuito eléctrico. Puede observarse un ejemplo de la casa COPELAWELD.

(Ver anexo 5).

2.5.1.3 Motor con Capacitor Permanente. Es más simplificado si se usa un capacitor en el circuito del devanado de arranque todo el tiempo; claro esta que se debe escoger el capacitor correcto para el uso con el devanado de arranque, debe poder pasar la corriente suficiente para poder suministrar el torque adecuado al devanado de arranque; y que no permita una corriente que pueda sobrecalentar el devanado de arranque mientras el motor esta en operación.

En la figura 8 podemos apreciar un capacitor conectado en serie con el devanado

de arranque, el cual se energizan en todo momento, cuando el motor está en operación. Consecuentemente, no se necesita interruptor centrífugo con estos tipos de motores; llamado "motor de condensador permanente", puede observarse un ejemplo de la casa COPELAWELD. (Ver anexo 6).

2.5.1.4 Motor con Capacitor de Arranque, Capacitor de Operación. Este tipo de motor con las dos clases de capacitores es muy similar en diseño y operación al motor de inducción con capacitor de arranque.

En la figura 9 observamos este tipo de motor en el cual un interruptor centrífugo se conecta en serie con un tipo de capacitor de gran capacidad y este circuito serie esta en paralelo con el capacitor de operación. En este motor, como en otros se utiliza un interruptor centrífugo que abre el circuito cuando el motor alcanza aproximadamente el 75% de su velocidad nominal, poniendo al capacitor mayor fuera de uso.

Este motor es adaptable a condiciones en las cuales e necesita un fuerte torque de arranque, tal como en un compresor que debe arrancar bajo condiciones de carga severa. (Ver anexo 7).

2.5.1.5 Motor de Inducción. Este tipo de motores no presenta un devanado de arranque, siendo similar al motor de inducción de fase partida. En otros motores debe usarse algún esfuerzo para hacer girar el motor ya que únicamente con el giro del rotor las líneas de fuerza son cortadas, levantando su propio campo magnético para mantener la rotación.

En la figura 10 se muestra que los polos del motor son partidos o ranurados, así que el polo más pequeño reemplaza parte del polo principal. Alrededor de ese

polo más pequeño hay una espira de cobre llamada bobina de inducción.

2.6 PROTECTORES DEL MOTOR

Se suministran protectores incorporados para permitir que el motor haga su trabajo normal hasta un límite seguro de temperatura sin cortar su suministro de potencia.

La mayoría de las regulaciones y códigos son estrictas con respecto a los protectores de sobrecarga, ya que el funcionamiento anormal de un motor o equipo conectado, pueden derivar peligro para los usuarios.

Existen dos tipos generales de protecciones incorporadas. La primera es activada primariamente por temperaturas y la segunda es activada por la corriente del motor, temperatura o ambos.

Los protectores que responden a la temperatura como se observa en la figura 11.a pueden ser del tipo bimetálicos y temperatura fija del motor o del tipo varilla y tubo, que tienen una sensibilidad anticipatoria o rata de incremento. Los bimetálicos usan láminas o discos bimetálicos para controlar un interruptor normalmente cerrado y están diseñados para requerir el mínimo espacio de tal modo que en la mayoría de los casos puedan colocarse en los devanados del motor.

Los termistores son semi-conductores cuya resistencia eléctrica varía con la temperatura, son extremadamente sensibles a cambios mínimos de temperatura, pero la variación de la resistencia debe amplificarse con un circuito electrónico o Relé mecánico para accionar la bobina de retención.

los protectores del tipo rata de incremento son casi siempre de la clase varilla y tubo y operan con un circuito piloto. Un tubo exterior de metal y una varilla interior de metal, se conectan de tal modo que operan como un elemento térmico de expansión diferencial, para accionar un interruptor de resorte autocontenido; el metal del tubo tiene un coeficiente de expansión mayor que el de la varilla.

El elemento se instala en el devanado del motor en donde se verá afectado por calentamiento del mismo. En cambios lentos de temperatura el tubo y la varilla se calientan a la misma rata y el interruptor se coloca para abrir cuando el tubo alcanza una temperatura predeterminada. Cuando el cambio es rápido el tubo se calienta a una rata superior a la varilla de tal forma que el movimiento de expansión diferencial se alcanza a una temperatura más baja del tubo para que se oprima el interruptor.

Los protectores de respuesta dual cuya localización se ilustra en la figura 12 se usan para proteger contra incrementos de temperatura lentos y rápidos sirven para condiciones de sobrecarga en operaciones y bloqueo del rotor.

Estos protectores son esencialmente, termostatos bimetálicos con elementos de calefacción incorporados en serie con el devanado del motor, o como interruptores de línea como en la figura 11.b.

3. CONDICIONES DE OPERACIÓN NORMALES EN LOS MOTOCOMPRESORES

3.1 TEMPERATURA DEL MOTOR

La cantidad de calor producido en un motor depende de la carga y eficiencia del motor, el porcentaje de potencia convertida en calor en el motor depende de la eficiencia del mismo, el calor decrece cuando se incrementa la eficiencia del motor y viceversa, el nivel de temperatura que puede tolerar un motor depende del tipo de aislamiento y diseño básico del motor; pero realmente la vida del motor está sujeto a las condiciones de su uso. Si se opera en un ambiente adecuado dentro de las cargas de diseño puede tener una vida indefinida, las sobrecargas continuas, producen temperaturas de operación altas que acortan su vida.

El compresor hermético posee la gran ventaja de utilizar el gas de succión para disipar el calor eficazmente; un buen diseño de éstos para una aplicación específica y controla estrechamente la temperatura del motor, este puede trabajar a una carga dada, operando a su máxima capacidad y mantener un buen factor de seguridad, superando en este aspecto a los compresores de tipo abierto.

3.2 AMPERAJE

Con enfriamiento controlado y protección del motor adecuada un compresor hermético puede ser operado mucho más cerca de su máxima capacidad que uno de tipo abierto, el amperaje y vatios de potencia que toma son los mejores

indicadores de la operación de un motor hermético.

La mayoría de las unidades herméticas llevan en su placa datos del amperaje (ver Anexo 8) a plena carga y rotor bloqueado. En la mayoría de sus compresores la designación amperaje a plena carga persiste como amperaje de placa. En la mayoría de los compresores con protección inherente o termostatos internos, el amperaje de placa ha sido establecido en el 80% de la corriente cuando las protecciones del motor se disparan, y se derivan del standard Industrial que recomienda aparatos de protección del 125% de la corriente tomada en condiciones de carga normal, lo que significa que todo compresor hermético puede operarse continuamente a una carga de exceso sobre la corriente de placa sin temor a falla.

El amperaje del motor es solo un factor en la determinación de los límites de operación, la presión y temperatura de descarga, el enfriamiento del motor y requisitos de torque son igualmente críticos, los límites seguros de operación son establecidos por el fabricante y publicados sobre el compresor o en las especificaciones de la unidad (ver anexo 8).

3.3 VOLTAJE Y FRECUENCIA

Como la distribución de las tensiones oscila entre más o menos 10% del valor nominal (110, 220, 440) tanto monofásicos como trifásicos, los motores abiertos pueden operarse al voltaje de placa, más o menos un 10% sin peligro de recalentamiento, en tanto que los compresores herméticos, en donde los devanados han sido dimensionados más críticamente para condiciones exactas de operación y carga; como en el caso de las unidades con condensador permanente que no tienen un condensador de arranque y por tanto un torque de

arranque relativamente bajo, las especificaciones de frecuencia y voltaje seguros se encuentra indicadas sobre la placa de la unidad; en el anexo 8 se muestra la placa característica de unidad TECUMSEH, cuyo voltaje de operación seguro oscila entre 220 y 240 V. (Ver anexo No.8).

La frecuencia al igual que el voltaje de distribución varían a la misma rata, la operación de un motor dentro de estrechos límites dada en la condición de menor frecuencia es correcta en algunos casos, por ejemplo un motor de 440 voltios, trifásico, 60 Herz operará satisfactoriamente con potencia a 380 voltios, trifásico, 50 Herz esta especificación generalmente se encuentra sobre la placa característica.

(Ver anexo 8).

Cabe anotar que las condiciones de bajo voltaje no siempre sucede a causa del suministro, frecuentemente el alambrado desde la fuente de potencia al compresor, unidad condensadora etc. puede estar dimensionado inapropiadamente de tal modo que las pérdidas excedan los límites normales y el voltaje final a la unidad sea demasiado bajo; la situación se complica con el uso de conductores de cobre y aluminio, ya que estos poseen características diferentes.

Si la caída de voltaje en la línea se complementa con un voltaje mínimo de la fuente se genera un significativo impacto sobre la unidad motocompresora.

3.4 ARRANQUE CON VOLTAJE REDUCIDO

Los relés de arranque, capacitores, contactores y arrancadores a través de la línea se usan con voltaje nominal, sin embargo, a causa de algunas limitaciones

en el suministro, un método de reducir la corriente de arranque, consiste en descargar el compresor para reducir el torque de arranque y acelerar rápidamente el motor; no obstante, esta no siempre es la solución, por lo que es necesario un tipo de arreglo de arranque que utiliza arrancadores conocidos comúnmente como arrancadores de voltaje reducido; para el caso del motocompresor hermético de refrigeración se utilizan arrancadores magnéticos de voltaje reducido de aplicaciones específicas de tipo de:

- Devanado parcial

- Estrella - Triángulo

- Autotransformador

- Resistencia primaria

- Accesorio de arranque de voltaje reducido.

Cuando se reduce la corriente de arranque, el torque de arranque también cae y la selección del arrancador apropiado puede limitarse al requisito de torque de la unidad motocompresora.

4. INSTALACION Y ARRANQUE

4.1 GENERALIDADES

La importancia de esta fase en la aplicación exitosa de un sistema de refrigeración, no es indispensable que tan bien han sido diseñado y fabricado el equipo o que también planearon los ingenieros el sistema, una instalación inapropiada puede fácilmente arruinar el mejor sistema.

Una buena instalación requiere algo más que habilidades técnicas o mecánicas; requiere integridad personal para efectuar el mejor trabajo. La instalación de un equipo depende, por supuesto del tipo de producto y el sistema en cuestión.

4.2 CODIGOS, ORDENANZAS Y NORMAS

Para las instalaciones debemos tener en cuenta los "códigos y regulaciones nacionales o locales", con su aplicación o consideraciones de seguridad se facilita la instalación y queda mejor; en Colombia la norma ICONTEC 2050 sección 440 o Código Eléctrico Nacional para instalaciones de equipos frigoríficos y aire acondicionado. Otros códigos hacen énfasis en las fases de instalación, las normas son establecidas por las siguientes organizaciones:

- A.R.I: (AIR - Conditioning and Refrigeration Institute). Su casa se encuentra en Airlington, Virginia, esta es la asociación de productores de equipos de refrigeración y aire acondicionado. Una de las funciones es la de establecer las normas de los productos o su aplicación.

- ASHRAE: (American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers). Crea normas de equipos para la industria pero su

contribución más importante es la aplicación de una serie de libros que han venido a ser las biblias de referencia de la Industria.

- ASME: (American Society of Mechanical Engineers). A manera primaria trata con código y normas relacionados con los aspectos de seguridad de los recipientes a presión.

- U.L: (Underwriters Laboratories). Es una agencia de pruebas y códigos la cual trata principalmente con los aspectos de seguridad con los aspectos eléctricos aunque a veces incluía una revisión total del producto.

- NFPA: Estrechamente relacionada con el trabajo de UL en términos de seguridad eléctrica, está el National Electrical Code. Auspiciado por el NFPA (National Fire Protection Association).

4.3 COLOCACION DEL EQUIPO

Se debe considerar tres factores en la ubicación del equipo. Primero, cuando se instala equipo con condensación por aire, debe suministrarse amplio espacio para circulación del aire.

Segundo, todos los componentes mayores deben instalarse de tal modo que puede fácilmente dárseles mantenimiento. Si el equipo no es de fácil acceso el mantenimiento es costoso.

Tercero, Siempre debe considerarse el aislamiento de las vibraciones, no solo del equipo en sí mismo, sino también con relación a la tubería de interconexión y la ductulación.

El ruido generado en el equipo de condensado por aire será llevado por el aire en la descarga del aire en una dirección en donde el ruido pueda perturbar , tal como en las oficinas. Al montar los componentes se debe tener cuidado de asegurar accesibilidad de mantenimiento.

Es importante controlar las vibraciones provenientes del equipo que gira, tal como los compresores, ventiladores y motores estas vibraciones pueden romper la línea de refrigerante.

Todos los equipos de refrigeración deben tener alguna forma de aislamiento de la vibración en su construcción; siendo suficiente en su instalación pero otras situaciones requiere adicionales aislamientos. La mayor fuente de vibración es el compresor, siendo esencial aislar la vibración de su fuente y se hace en la o durante la instalación.

En la parte eléctrica decimos que toda línea de potencia debe pasar por un interruptor que a su vez presenta fusibles por si hay una sobrecarga. Es importante destacar que todas las instalaciones eléctricas deben ser hechas bajo el Código Nacional o Norma Icontec 2050 sección 440.

4.4 CARGA DEL SISTEMA

El sistema puede ser cargado con refrigerante en su estado normal como líquido o como gas.

En las unidades pequeñas se pueden cargar como refrigerante en estado gaseoso; pero en las grandes unidades se debe o recomienda con líquido pues el

tiempo que se demoraría con gas sería grande.

El orificio del aparato de medición no es lo suficientemente grande para hacer la carga de gas en el lado de alta del aparato, a causa del tiempo consumido; por consiguiente el gas normalmente se carga en el sistema después del aparato de medición; se debe hacer en un punto entre el aparato de medición y el compresor.

Si el refrigerante se introduce líquido este debe introducirse antes del aparato de medición para proteger el compresor de daños debido a inundaciones con líquido.

Con sistemas de tipo abierto y semihermético que son lo suficientemente pequeños para ser prácticas de carga con gas, o donde solo se requiere una pequeña cantidad de refrigerante, la carga usualmente se hace a través de la válvula de servicio en la succión, sobre el compresor.

En los sistemas herméticos que no son tan pequeños, se tienen tomas disponibles para este propósito en el compresor. Estas tomas están conectadas en la succión del compresor y están diseñadas para permitir que el compresor tome gas directamente del tambor del refrigerante.

5. CAUSAS COMUNES EN FALLAS DE LOS MOTOCOMPRESORES.

Las fallas más frecuentes de un motocompresor de refrigeración se pueden clasificar en cuatro grandes grupos, desde el punto de vista de la causa de la falla: fallas eléctricas, fallas mecánicas, fallas por procedimiento inadecuados de operación y servicios y fallas por procedimiento inadecuado de instalación.

5.1 FALLAS ELECTRICAS.

Trae como síntoma un motor eléctrico quemado; pero al abrir un motocompresor y se descubre que el motor eléctrico se ha quemado no necesariamente la falla es eléctrica; pudo haber sido producida por falta de lubricación, lo que traba el cigüeñal y quema el motor; altas temperaturas de descarga, lo que significa desgaste de los cilindros y pistones produciendo virutas que rompen la aislación del motor quemándolo; incluso pudo ser que por otros motivos el compresor original se quemó produciendo ácidos, que son arrastrados a todo el sistema de refrigeración por el refrigerante; y de no neutralizar esos ácidos antes de instalar el compresor nuevo; el reemplazo se quemará pues los ácidos dañan la aislación del motor nuevo; ya que éstos no se evaporan ni en altas condiciones de vacío y por lo tanto no basta la evacuación del sistema para neutralizarlos.

Se puede diagnosticar como una falla eléctrica, la producida por:

a) Voltajes excesivos: es originada por consumo de mayor corriente que la nominal; lo que es especialmente crítico en sistemas trifásicos con desequilibrio

de fase.

b) Bajos voltajes: Los motores se queman en pocos segundos al no tener suficiente potencia para partir, por lo que no se enfrían lo suficiente especialmente los enfriados por refrigerante.

c) Conexión inadecuada del motor: se deben observar las instrucciones de placa antes de conectar un motor a una fuente de poder, con línea y protectores adecuados; se produce también por falla de componentes de control del motor, como relé, contactores, etc.

d) Fallas de accesorios eléctricos: se producen por capacitores con corto circuito a tierra, relé con contactores pegados o dañados y contactores inadecuados.

e) Quemaduras en puntos definidos del bobinado (SPOT-BURNS): Puede ser producida por viruta metálica que varían la constante dieléctrica del entrehierro pudiendo producir arcos y quemaduras localizadas; además puede producir cortes y daños a la aislación eléctrica, produciendo un corto circuito. La viruta puede provenir de la instalación inadecuada o desgaste del mismo motocompresor.

g) Consumo inadecuado: Se sobrepasan los valores nominales de placa por sobrecarga de la unidad, causado por hacer funcionar el motocompresor fuera del rango autorizado por el fabricante, con un refrigerante inadecuado o mala condensación etc.

h) Falta de enfriamiento del motor eléctrico: originado por falta de aire para enfriar los motores enfriados por aire, causado por recirculación de aire caliente y/o altas temperaturas ambientales, falta de refrigerante para enfriar los motores

enfriados por este medio, causado por presiones de succión por debajo del rango recomendado por el fabricante o pérdida del refrigerante del sistema o ambos.

5.2 FALLAS MECANICAS

Se deben principalmente a:

5.2.1 Retorno de Refrigerante Líquido. Como ya se explicó ocurre cuando el refrigerante en estado líquido llega en cantidad moderada al cárter y/o a los cilindros, puede diluir el aceite causando el desgaste, trabando y eventualmente rompiendo piezas móviles, se puede diagnosticar este problema por el desgaste de los anillos del pistón que tiene bordes redondeados cuando están nuevos y afilados cuando se desgastan y además no hay evidencia de otros problemas que producen el mismo síntoma como recalentamiento, pero sobretodo se puede diagnosticar a tiempo midiendo el sobrecalentamiento de refrigerante a la entrada del compresor. Este problema se origina por exceso de carga, válvula de expansión con problemas, bajo carga térmica por evaporadores bloqueados.

5.2.2 Las Partidas Inundadas. Ocurre cuando hay una mezcla de refrigerante en estado líquido y aceite en el cárter del compresor en el momento que comienza a funcionar; esta mezcla de aceite y refrigerante no lubrica adecuadamente; debido a la formación de espumas que lavan el aceite de las superficies del cigueñal y bielas en un patrón errático; ya que al abrir la unidad los bielas van a estar desgastadas y atascadas en forma aleatoria; este problema no se detecta a menos que se vea que al partir el compresor todo el visor se llena de una espuma blanca; Normalmente la presencia de refrigerante líquido en el cárter se debe a la migración de aceite durante los períodos en que el compresor no funciona, producido por exceso de carga, sobre todo en sistemas con capilar,

bajas temperaturas ambientales, largos períodos de detención de la unidad, por filtraciones en las válvulas solenoides etc.

5.2.3 Golpes de Líquidos. Ocurre cuando cantidades significativas de refrigerante líquido, aceite o mezcla de ambos entran al cilindro del compresor, los líquidos a diferencia de los gases son incompresibles, por lo que una cantidad suficiente de líquido en un cilindro del compresor pueden generar fuerzas que pueden destruirlo; si la cantidad de líquido que entra al cilindro no es suficiente, puede evaporarse con el calor de compresión y no producir más daño que la falta de lubricación; en cantidades mayores los daños dependen de la cantidad de líquido presente, cuando el pistón está en su carrera ascendente las fuerzas generadas cuando el pistón golpea el líquido pueden romper las láminas de succión (plato de válvulas) y/o descarga, o doblarlas de manera que pierdan flexibilidad y no ajusten bien, dañar el asiento de las mismas, reduciendo la eficiencia del compresor, volar parte de la empaquetadura del plato de válvulas, romper el cigueñal y/o los bielas. En general los síntomas son: vibración excesiva del compresor, ruido de golpeteo metálico, pérdida de capacidad al examinarlo, etc.

5.2.4 Recalentamiento del Motocompresor. Debido al calentamiento del aceite a una temperatura a la cual pierde sus cualidades lubricantes; la producción de calor se origina por la fricción, motor eléctrico y el calor de compresión; los signos distintos del recalentamiento son: la descomposición del aceite, pérdida del rendimiento del sistema por la pérdida de flexibilidad de las láminas, desgaste de pistones, cilindros y anillos.

Se pueden agrupar en cuatro los problemas que causan recalentamiento de un motocompresor:

- a) Altas relaciones de compresión: originado por presiones de succión muy bajas, esto se produce por que algunos componentes del sistema no están balanceados con respecto a los demás, por lo que el sistema se estabiliza en una condición de operación de acuerdo al elemento de menor rendimiento, bajando la presión de succión, específicamente esto proviene de aplicar un motocompresor sobredimensionado para el sistema, un evaporador muy chico para el compresor o una válvula de expansión errática o caídas de presión excesivas en la línea de líquido o en la línea de succión.

- b) Altas temperaturas del gas de retorno.

- c) Enfriamiento inadecuado del motor

- d) Selección inadecuada de un refrigerante para la aplicación.

5.3 PROCEDIMIENTOS INADECUADOS DE INSTALACION

5.3.1 Daños por ácidos. Si no se limpia el sistema con R-11 cuando se reemplaza una unidad quemada, y existe aire y/o humedad en el sistema que reacciona químicamente con el aceite y el refrigerante para producir ácidos; es necesario neutralizar los ácidos totalmente del sistema.

5.3.2 Daños por hacer un vacío inadecuado en tiempo y calidad de vacío. Es la principal causa de presencia de aire y humedad en el sistema. En ningún caso se debe hacer vacío con el mismo compresor a instalar; o sea autovacío, porque puede dañar el compresor nuevo, debido a que ningún motocompresor está diseñado para lograr el alto vacío necesario.

5.3.3 Daños por sobrecarga de refrigerante. Generalmente causa bajo rendimiento del sistema, golpes de líquido o fallas de lubricación por dilución de aceite. La solución se encuentra pesando la carga o usando dosificadores.

5.3.4 Falta de protección del compresor. A veces es necesario invertir en accesorios que pueden costar un porcentaje significativo del costo del compresor, pero lo protegen ante eventualidades como:

- a) Protectores trifásicos o de falla de fase.
- b) Protectores de sobre y baja tensión.
- c) Instalar acumuladores de succión con suficiente capacidad para eventuales pérdidas de control sobre la inyección de refrigerante al evaporador.
- d) Instalar filtros de succión para evitar que impurezas, restos de soldadura etc, entren y dañen el compresor.
- e) Instalar separador de aceite, que permite reducir el aceite que circula por el sistema, aumentando eficiencia del evaporador y retardando problemas de nivel de aceite por control o diseño inadecuado del sistema.

5.3.5 Controles de alta y baja presión. Instalarlo donde sea posible y ajustarlo dentro del rango de operación recomendado por el fabricante.

5.4 DAÑOS POR OPERACION INADECUADA

Estos daños son responsabilidad del usuario, entre ellos tenemos:

- a) Los referidos a la sección de componentes y diseño del sistema de refrigeración, pues no se debe exceder la carga de diseño sin restringir la circulación suficiente de aire entre el evaporador y el producto, y estos en lo posible no deben congelarse ni enfriarse en envoltorios aislantes, sólo cuando ya está a la temperatura deseada; de otra manera se hace el proceso de frío largo y costoso; si el problema es evitar la deshidratación del producto, hay que aumentar la superficie de evaporación o lo que es equivalente reducir la cantidad de producto en la cámara para aumentar la humedad relativa.
- b) La utilización de compresores inadecuados, cada unidad está diseñada para operar en condiciones de alta o baja presión de evaporación según se indica en los catálogos de los fabricantes.
- c) pérdida del rendimiento en el condensador.
- d) Pérdida de refrigerante por mantenimiento inadecuados.
- e) Operar compresores en ambientes de altas temperaturas.

6. VIBRACIÓN EN LOS MOTOCOMPRESORES

6.1 GENERALIDADES

La teoría de las vibraciones mecánicas estudia un conjunto de fenómenos que han atraído la atención no solo del técnico y del científico sino incluso de cualquier hombre.

Los sistemas mecánicos al sufrir choques o al ser sometidos a la acción de fuerzas variables con el tiempo principalmente periódicas responden variando su sistema de equilibrio produciéndose en ellos lo que se conoce como vibración.

6.2 VIBRACION

Es la variación de la configuración de un sistema con respecto al tiempo alrededor de una posición de equilibrio estable, regularmente las excitaciones son armónicas, traduciéndose en una variación temporal de las vibraciones, también armónicas. Así también sean periódicas la configuración del sistema se repiten a intervalos iguales de tiempo, en términos simples podemos decir que es el movimiento de vaivén de un punto de una máquina o pieza a partir de su posición de reposo teniendo como causa la presencia de una fuerza.

6.3 CLASES DE VIBRACION

En un sistema mecánico se pueden encontrar 3 clases de vibraciones a saber:

a) Vibración Libre: Se dice que una vibración es libre si no existen acciones (fuerzas o movimientos) directamente aplicados sobre el sistema a lo largo del tiempo.

b) Vibración Forzada: es aquella en la cual la vibración es producida por una causa o un permanente estímulo de fuerzas o momentos claramente determinados.

c) Vibración Autoexcitadas: tienen su origen en el propio movimiento del sistema, es decir que son funciones de los vectores posición, velocidad e incluso aceleración del mismo en cada instante. A pesar de la existencia de la excitación este tipo de vibraciones son más a fines con las libres.

6.4 EL MECANÁLISIS

El estado de una máquina se revela en el nivel de vibración y ruido que produce, esto ha desarrollado una técnica de control denominada mecanálisis.

La palabra mecanálisis se ha formado por dos palabras: mecánico y análisis, para describir cualquier medición como la de vibración de una máquina, el movimiento de un eje o el ruido que hace la máquina, cualquier medición en fin, que nos permita determinar la condición de una máquina funcionando bajo condiciones normales.

Esta técnica da resultado por las siguientes razones:

Primero, es natural que las máquinas vibren y hagan ruidos, hasta las máquinas

en el mejor estado posible presentan algunas vibraciones y ruidos debido a defecto de poca importancia, por lo tanto, cada máquina tendrá un nivel de vibración y ruido que puede considerarse normal o inherente.

Segundo, si el ruido o vibración que produce una máquina aumenta o llega a ser excesivo, lo mas probable es que se deba a un defecto mecánico, puesto que los ruidos y vibraciones de maquinarias no se aumentan ni se hacen excesivos sin razón cualquiera.

Cada efecto mecánico genera una vibración y ruido propio, lo que hace posible identificar un problema de modo positivo, midiendo y tomando notas de su ruido y vibraciones características.

Una máquina ideal no produciría vibración, ya que toda la energía se emplearía en el trabajo a realizar, en la práctica, las vibraciones aparecen como consecuencia de la transmisión normal de fuerzas cíclicas por los mecanismos.

Los elementos de máquinas reaccionan entre si y por toda la estructura se disipa energía en forma de vibraciones.

Un buen diseño produciría bajos niveles de vibración pero a medida que la máquina se vaya desgastando, se asienten sus cimentaciones y se deforma en sus componentes, aparecerán sutiles cambios en las propiedades dinámicas de las

máquinas.

7. ANALISIS DE LA VIBRACION

7.1 ASPECTOS GENERALES

En las Empresas los equipos pequeños son los menos evaluados, y los daños son más frecuentes, pero la evaluación del daño no es analizada sino que se opta solamente por reparar el daño, por ejemplo, Si un rodamiento se le busca la causa por lo cual se está dañando, esto nos representa mayores ganancias puesto que se dañará menos, se harán menos paradas y se ahorrará en los insumos que éste necesite.

En nuestro caso, unidades de refrigeración de pequeñas capacidades, no son analizadas desde el punto de vista de los estudios de vibración, que nos arrojan en un momento dado la causa de un determinado problema que se presente.

En nuestro medio ninguna de las empresas de la rama se ha concientizado en crear un departamento que se dedique solamente al mantenimiento y el estudio de los daños causados por vibración en estas máquinas.

Ultimamente las exigencias de la calidad total implementadas por la norma ISO - 9000 ha inducido el campo del mantenimiento hacia el "TPM" (Mantenimiento

Predictivo Total), muy indiferente hasta ahora en nuestro medio al campo de la refrigeración comercial y de aires acondicionados.

Un estudio completo de "TPM" incluye termográficas, ultrasonido, tribológicos y vibración. En nuestro estudio se investigó sobre cómo medir y diagnosticar los diferentes problemas que se puedan presentar en una unidad de refrigeración hermética y semihermética.

Para efectuar una medición de vibraciones es necesario conocer el dispositivo más adecuado, dependiendo del tipo de máquina y de su conformación estructural, además del medio donde se encuentra instalada la máquina, en este caso la unidad motocompresora.

Las vibraciones reflejan condiciones dinámica de operación en una unión a pleno funcionamiento empleándose dos pruebas a saber:

- a) Si la máquina trabaja a una sola carga: Se debe hacer la prueba en su única velocidad de trabajo.
- b) Si la máquina trabaja a diferentes cargas: Se debe hacer las pruebas en todas las cargas en que se trabaje la máquina. Estas mediciones se deben hacer cada mes, y como máximo en períodos regulares de 6 meses.

7.2. MEDICION DE LA VIBRACION

Las vibraciones físicamente se caracteriza por 4 parámetros definidos bajo una ecuación senosoidal (ver anexo 9), y son:

7.2.1 Amplitud: La amplitud es el cuantificador de la vibración y representa la distancia total de recorrido por la parte que vibra y normalmente se mide en micrones o milésimas de pulgada.

La amplitud se cuantifica al obtener:

a) **Aceleración de la Vibración:** la aceleración de la vibración es un indicador de las fuerzas que generan la vibración del cuerpo en un determinado momento. Los sensores utilizados para este fin nos dan la información de la magnitud en "geas".¹

Esta unidad es convertible a los sistemas tradicionales al multiplicarlo por el valor de la gravedad del sistema respectivo, ya sea el sistema inglés o el métrico.

El "Geas"* sirve para trabajar un máximo de 600.000 ciclos por minutos, en la parte dinámica. Si hay un ciclaje entonces el sensor nos mostrará una de estas tres frases: "- Bearing Gear-" (IRD), "-Spik Energy-" (CSI), "-Nigt frequency-" (BNS) y se sabrá que la unidad es "geas de fricción", utilizando cualquier tipo de sensor del tipo sísmico.

b) **Velocidad de la Vibración:** La velocidad es una medida de la rapidez con que el cuerpo está vibrando. Este parámetro de la velocidad nos indica la severidad del problema. Las unidades de la velocidad que son captadas a través de los sensores de velocidad se da en mm/seg o pulg/seg.

c) **Desplazamiento de Vibración:** Representa la distancia total con respecto a un punto fijo de la parte que vibra. Los sensores para medirlos no las muestran

¹ Unidad de la medición de la aceleración de la vibración.

en micrones y milésimas de pulgadas.

7.2.2 Frecuencia: Es el número de eventos que se repiten en la unidad de tiempo y en términos de vibración es el inverso del período ($F=1/T$).

La frecuencia de la vibración permite identificar la causa de la vibración y así de esta manera relacionar los problemas en particular, normalmente es expresada en forma relativa el tiempo y relativo a la rotación del eje.

Relativo al Tiempo	Relativo a ordenes de rotación
Ciclos por seg. (Herz)	1X
Ciclos por Min (CPM)	2X,3X,4X,...NX
Eventos por Min.	1/2X, y 1/2X, Etc.

7.2.3. Angulo de Fase: Indica en qué lugar se localiza un problema se mide mediante un sensor de vibración que tiene una lámpara estroboscópica o un faser de referencia (Keyphasor). Además indica el comportamiento de una máquina y sirve para catalogar ejes como rígidos, resonantes o flexibles, físicamente está definida como la medición en grados de la relación en tiempo entre eventos, o como la posición de una pieza que vibra en un instante dado con relación a un punto fijo a otra pieza que vibra.

7.2.4 Forma de la Onda: Es sostenida a través de un osciloscopio y cuya descomposición de las frecuencias o gráfica espectral (amplitud Vs Frecuencia) permite diagnosticar un problema específico.

7.3 PARAMETROS DE MEDICION

Los parámetros se pueden utilizar como indicadores de la severidad de la vibración, y son:

a). Desplazamiento: representa la distancia total recorrida por la parte que vibra, desde el extremo superior hasta el extremo inferior y se denomina "desplazamiento pico a pico, normalmente es medido en unidades de "mils o micrones", el desplazamiento es un indicador de cuanto está vibrando el cuerpo. (Ver figura 13)

b). Velocidad. Indica la rapidez con el cual el cuerpo está vibrando, varía constantemente durante un ciclo, siendo la más elevada de pico, que es la que se escoge para ser medida, normalmente se expresa en in/seg. o mm/seg. (Ver figura 13).

c). Aceleración. Es un indicador de las fuerzas que generan la vibración del cuerpo, se puede medir como movimiento dinámico, que puede ser graficado, o como coeficiente de fricción, sensado sólo cuando se tienen altos ciclajes de vibración. (Ver figura 13).

7.4 TIPOS DE MEDICION

Al efectuar un estudio de vibraciones es importante conocer que tipo de medición se debe efectuar, de tal forma que nos permita visualizar la mayor magnitud posible y severidad máxima de la vibración. Dentro de los tipos de Medición se pueden realizar:

a) Absoluto de la carcasa: apropiado para máquinas cuyo eje está ligado a la carcasa a través de ciertos elementos y donde se considera que el movimiento

vibratorio es el mismo tanto en el eje como en la carcaza, en nuestro caso usamos este tipo de medición debido a que las unidades de refrigeración de tipo hermética están diseñados de tal forma que la rigidez específica de sus elementos a la carcaza nos asegura un porcentaje alto en la veracidad de la medición.

b. La medición Relativa al Eje: Apropiado en maquinaria con cojinetes de fricción.

c. Absoluta del eje o puro.

7.5 SENSORES UTILIZADOS EN LOS DIFERENTES PARÁMETROS DE MEDICIÓN.

Para realizar las mediciones de vibración se emplean tres tipos de sensores, de no contacto o de proximidad, sísmico o de velocidad y acelerómetros; Estos sensores convierten el movimiento mecánico en una señal electrónica proporcional, por tanto actúan como transductores.

El transductor óptimo es aquel que produce un cambio máximo en la señal de salida como resultado de un cambio mínimo en la condición de vibración de la máquina; el ideal es el adecuado para la monitorización y diagnóstico de falla de máquinas; la selección de un sensor transductor obedece a las características de la vibración de la máquina bajo condiciones normales y anormales de funcionamiento, la importancia de la máquina con respecto al proceso completo de la planta (el costo del tiempo de parada de la máquina), la razón de la medición (monitorización de las máquinas o capacidad de monitorización y diagnóstico), personal y seguridad de la planta, cobertura de seguros y

estándares industriales.

El objetivo apropiado es no permitir que estos otros factores afecten la selección hasta el punto en que la integridad mecánica de la medición se ponga en peligro. Como se estableció antes, si la medición inicial no es la correcta, estos otros factores estarán comprometidos de algunas formas en la instalación final.

Desde el punto de vista puramente mecánico, los sistemas transductores de vibración están naturalmente divididos en tres grupos, basados en el tipo de mediciones realizadas por cada uno de ellos.

Los sistemas transductores de sondas de proximidad miden la vibración relativa al eje, los transductores sísmicos (de velocidad) y de aceleración miden la vibración absoluta del eje.

El transductor ideal para la aplicación de un equipo determinado depende de las características de vibración de la máquina.

7.5.1 Sensor de no Contacto o de Proximidad. Miden el movimiento de desplazamiento y la posición de una superficie observado con respecto a la posición de instalación de la sonda.

Los sistemas transductores de sondas de proximidad son necesarios para máquinas con cojinetes de películas fluida. Aunque es muy ventajoso por realizar las mediciones de vibración radial, posición axial, excentricidad, velocidad del rotor, ángulo de fase y medición de expansión diferencial, su utilización con unidades herméticas de refrigeración y aire acondicionado resultará muy inconveniente y costoso por las características de diseño de las

unidades que dificultan su montaje. (Ver anexo 10).

7.5.2 Transductores Sísmicos o de Velocidad. Son los utilizados en este estudio de vibraciones, en unidades de refrigeración y aire acondicionados; ya que son adecuados en máquinas de propósitos generales, y son instalados en las carcasa, especialmente en cojinetes de rodamiento; en general reflejan la energía transmitida al eje en las diferentes direcciones más críticas de acuerdo al diseño de estos y la factibilidad de realización de medidas en los equipos.

El sensor sísmico, se trata de un sistema consistente en una bobina de alambre fino que sostiene unos resortes de baja rigidez, un imán permanente está ligado firmemente al cuerpo del sensor generando un campo magnético fuerte alrededor de la bobina suspendida, cuando se sujeta el cuerpo del sensor de velocidad a la pieza que vibra o al apoyarla contra la misma, el imán permanente (estando conectado firmemente al cuerpo del sensor) sigue el movimiento vibratorio. La bobina de alambre (o conductor) en cambio como está sostenida por los resortes sigue estacionaria en el espacio.

Bajo dichas condiciones el movimiento relativo que hay entre el campo magnético y el conductor bobinado es idéntico al movimiento de la pieza que se estudia con relación a un punto fijo, lo que hace que el voltaje que genere el sensor este en función directa de dicho movimiento relativo. (Ver anexo 11).

Mientras más rápido se produce el movimiento, mayor el voltaje, en otras palabras el voltaje que sale del sensores directamente proporcionan a la velocidad vibratoria, a medida que cambia la velocidad de la pieza vibratoria, cambia de modo proporcional el voltaje que se genera, de aquí que se le llame el sensor de velocidad, normalmente se expresa el voltaje de salida de un sensor de

velocidad en milivoltios por pulgadas por segundo, lo que se denomina la "sensibilidad", dependiendo del modelo del sensor de velocidad y su marca, se establecerá su sensibilidad.

Entre las ventajas del sensor sísmico, tenemos:

- Puede ser instalado de varias maneras
- Puede ser instalado sobre altos rangos de temperatura
- Instalación fácil, montado sobre la carcasa de las máquinas.
- A partir de este sensor se puede conocer desplazamiento, si se realiza la integración.

7.5.3 Acelerómetros. En un dispositivo autogenerador de salida proporcional a la aceleración vibratoria, como la aceleración es función de los valores de desplazamiento y del cuadrado de la frecuencia, son especialmente sensibles a las vibraciones que se producen a altos ciclajes, lo que hace que sea particularmente útil para medir y analizar la vibración que emiten los engranajes de cojinetes antifricción; por tal razón no proporcionan una eficaz medida sobre las unidades motocompresoras herméticas. (Ver anexo 12); todo esto se basa en el comportamiento de los sensores. Cuando se realizan mediciones sobre un mismo punto de una máquina, y se efectúan mediciones en velocidad, aceleración a desplazamiento integrado; temiéndose como parámetro general de medición la velocidad debido al comportamiento relativamente estable de su respuesta a diferentes ciclos ya sean bajos, medios o altos; más no así en el parámetro de aceleración pues este es confiable casi en un 100% con ciclajes

relativamente altos; en tanto que el parámetro desplazamiento es más fiel a bajos ciclos. (Ver figura 14).

8. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL BANCO DE PRUEBA

8.1 CONSTRUCCION DEL MUEBLE

El mueble del banco de prueba es construido sobre una estructura metálica en ángulos de 1 x 3/16 pulg de acero, lo que imparte la rigidez necesaria a la mesa de trabajo, y al tablero de control.

La mesa de trabajo se construyo en triplex, cubierto con fórmica, lo que le da un acabado sobrio y elegante, que permite obtener un lugar agradable de trabajo en el taller; su dimensionamiento permite guardar los equipos y herramientas de trabajo necesario en su interior, lo que genera orden y control en el taller de trabajo.

El tablero está construido en láminas de acero galvanizado, cubierto por una fina capa de pintura de poliuretano, que le proporciona buen acabado y durabilidad en el ambiente de trabajo; pues, no se descascara ni levanta grietas que contribuyan a su rápido deterioro, su dimensión permite una buena distribución de la instrumentación, además de las placas de control y operación que aseguran facilidad y seguridad en la operación del equipo.

8.2 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE PRUEBA

El circuito de operación del banco de prueba consta de :

- Un circuito de poder o alimentación
- Un circuito de pruebas independientes

El circuito de poder o alimentación del banco de pruebas; está provisto por las líneas vivas, y un neutro, disposición que permite alimentar a sistemas monofásicos a 110V y 220V, al igual que trifásico. Además permite registrar el consumo de amperaje y verificar el voltaje correspondiente, en los circuitos de prueba. Su diseño obedece a la necesidad requerida para la alimentación de unidades motocompresoras menores de 5 HP.

Los instrumentos de medición, voltímetro, amperímetro se seleccionaron de acuerdo al máximo consumo de amperaje, voltaje especificado que aparecen en los catálogos de los fabricantes motocompresores, tales como Copelaweld, Embraco, Tecumseh, etc. (Ver anexo 13.a). La disposición del circuito de poder aparece en la figura 15.

Los circuitos de pruebas de unidades alimentan los tomas que aparecen identificados como 110V - 220V monofásicos y trifásicos, el circuito monofásico a 110V está diseñado de tal manera que permite probar unidades pequeñas de 1/12 hasta 1/2; la disposición de los circuitos es la que aparece en la figura 16; la selección de los elementos obedece a la información técnica de los catálogos, donde se especifican las capacidades de los terminos, relés, capacitores de marcha y arranque de los diferentes unidades motocompresoras; en el anexo 13.b, aparece así catálogos de Copeland en el cual se especifica la lista de partes eléctrica y dispositivos de protección de motocompresores monofásicos a 110V.

De igual forma los circuitos a 220 monofásicos y trifásicos, permiten realizar pruebas a máquinas de 1HP hasta 5 HP; los componentes eléctricos, capacitores y relés, se seleccionaron teniendo en cuenta los componentes para alto par de arranque (- Low

starting torque components-), para preveer un arranque en unidades que puedan presentar situación del rotor asegurado. (Ver anexo 13.b). La disposición de los circuitos es la que aparece en la figura 17 y 18.

Cabe anotar que los circuitos corresponden al sistema de alimentación propio de cada unidad motocompresora, tal como se instalaría la máquina en el lugar de trabajo.

8.2.1 Calculo de la corriente y selección de conductores: Para el circuito para el cual se van a manejar unidades desde 1/12-1/2 HP, con un voltaje de alimentación igual a 110V.

Calculamos la corriente de demanda: la mayor define el calibre del conductor a instalar. Según la fórmula:

$$P = V \times i \times \text{Cos}__$$

donde :

P = Potencia a la que trabaja el motor en wattios. (1 HP = 746 wattios)

i = Corriente que se consume. Unidades Amperios

V = Voltaje a el que va a trabajar la unidad compresora

Cos_ = Factor de corrección de potencia. (En nuestro estudio se aplica Cos_ = 0.5).

a) Calculo base: alimentación de 110 voltios monofásicos. Para una unidad de 1/12 HP tenemos:

1 HP → 746 Wattios

1/12 HP → X X = (746 Wattios x (1/12)
HP)/1HP

$$X = 62.16 \text{ Wattios}$$

$$P = V \times i, \quad 62.16 = 110V \times i \quad \text{donde,} \quad i = 1.13 \text{ A}$$

Tabla No. 1

Potencia HP	1/12	1/8	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2
Corriente A	2	2	3	3	4	5	7

Los valores de la corriente se aproximaron a su valor entero superior.

El máximo amperaje que se manejará en este circuito será de 7 amperios; y según la norma Icontec 2050 artículos 440-5, 440-12 y 440-41, tendrá por lo menos un 115% de sobredimensionamiento; en este caso mínimo 8.05 amperios (véase anexo 13.c).

Seleccionamos un aislante termoplástico resistente a la humedad y al calor y retardante a la llama, del tipo THW según la norma 2050 sección 310, tabla 310-13, para conductores AWC; que funcionan a una temperatura máxima de 75 grados centígrados.

En la tabla 310-17 que se encuentra en el anexo 13.c escogemos el calibre No. 14 para instalaciones comerciales, que permite 30 amperios a una temperatura ambiente de 30 grados centígrados; pero como en nuestro medio se prevén temperaturas de 31-40 grados centígrados, la máxima corriente permitida para este calibre se reduce en un factor de 0.88 que arroja 26.4 amperios máximos permisibles. Este calibre aún queda sobredimensionado para nuestra instalación, lo que asegura los picos en el arranque de estas máquinas.

El conductor instalado es calibre No. 14 THW-ACW, cable monopolar para tensión de 150 voltios.

b) Alimentación de 220 voltios monofásicos: dependiendo del tipo de casa fabricante tendremos entre 1 y 3 HP de potencia trabajando a 220V monofásicos.

Calculo base utilizando la misma fórmula:

$$P = V \times i \times \text{Cos}_\phi$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ Wattios}$$

$$746 \text{ W} = 220 \times i \times 0.5, \quad i = 6.78 \text{ A}$$

Tabla No. 2

Potencia HP	1	1.5	2	3
Corriente A	7	11	13.56	21

Según la norma 2050 tenemos 24.2 amperios, para el cual el calibre No. 14 no nos asegure el arranque de la unidad, por lo tanto instalamos alambre No. 12 THW-ACW que permite máximo 30.8 amperios para una temperatura ambiente de 31 a 40 grados centígrados bajo 300 voltios.

c) Calculo para alimentación a 220 trifásico: se verifica alimentación 220 trifásico y se calcula la corriente; cabe anotar que para la fórmula anterior hay que corregir por el factor $\sqrt{3}$.

$$P = V \times i \times \text{Cos}_\phi \times \sqrt{3}$$

Se hace el estudio para 5 HP

$$5 \text{ HP} = 5 \text{ HP} \times 746 \text{ Watts}$$

$$3730 = i \times 220 \times 0.5 \times \sqrt{3}, \quad i = 20 \text{ A} \quad \text{que sobredimensionado al}$$

115% serán 23 amperios, utilizamos el calibre No. 12 THW-AWC para 300 voltios.

De igual manera se calculó el cable de alimentación de estos circuitos para una carga

total; el cable será del tipo MEC-AWG encauchetado, calibre No. 10 de 4 polos para 600 voltios y 1.5 metros de longitud, esto según la norma Icontec 2050. (Ver anexo 13.c).

Los accesorios se seleccionaron de acuerdo a las corrientes máximas de cada circuito ramal:

Swites de 10 amperios de 220V, interruptores de 30 amperios de 220V (circuito monofásico y trifásico). De igual forma los tomas o enchufes se seleccionaron según el artículo 440-55 de la norma Icontec 2050. En síntesis toda la instalación se calculó de acuerdo a la norma del anexo 13.c.

8.3 ESTUDIO DE VIBRACIONES DEL BANCO DE PRUEBAS

Para llegar a realizar mediciones de las vibraciones de estas unidades, fue necesario realizar un estudio del comportamiento y el nivel normal de vibraciones de operación de estas máquinas; se precedió de la siguiente manera:

8.3.1 Toma de medidas en unidades nuevas.

a) Se tomaron las medidas de vibraciones en unidades compresoras nuevas, de distinta capacidad, con el objeto de encontrar un parámetro en cuanto a la magnitud del desplazamiento pico a pico, además de la aceleración pico y los ciclos al cual ocurren estas vibraciones; obteniendo como resultado de estas mediciones el rango de variación de velocidad pico de 0.12 - 0.18 mils/seg, a un ciclaje de 1 x RPM de la unidad (RPM de operación de la máquina). Actuando en la dirección horizontal que es la misma dirección de acción del pistón; en tanto que el máximo desplazamiento pico a pico estuvo en orden de 1.75 mils en la dirección del trabajo del pistón.

b) Las mediciones se efectuaron con equipo transductor y analizar integrado, computarizado del tipo sísmico.

c) Se midió en las tres direcciones; horizontal, axial y vertical, y en los parámetros velocidad y desplazamiento integrado, en altos y bajos ciclajes, y condiciones libre de carga; fijas sobre el banco de pruebas de tal forma que la filtración de frecuencias externas es considerada nula.

d) Las gráficas espectrales encontradas corresponden con la configuración de las maquinas, mostrando una forma de onda levemente distorsionada, pero muy regular; además registran la pulsación producida por el pistón como único punto pico; lo cual reafirma que las unidades presentan un comportamiento muy libre de efectos pulsantes agudos, que puedan causar graves estragos en su correcto funcionamiento.

Al entrar a analizar los valores máximos en las tablas de severidad, (ver anexo 14). Para maquinaria que giren en 3.550 RPM aproximadamente; estos valores están muy por debajo a los máximos permisibles a esas RPM. La gráfica espectral se muestra en el anexo 15; en el cual se observa la forma de la onda y las gráficas espectrales correspondiente a unidades de 3/8 HP y 1/3 HP; de diferentes series de producción.

8.3.2. Toma de medidas en unidades usadas: Estos resultados se encuentran en el anexo 16; correspondiente al estudio de unidades de 3.5 y 1 HP; en el, se observa que los valores de velocidad y desplazamiento de los movimientos vibratorios no solo son mayores, sino que aparecen mas irregularidades en la onda, ocasionadas por el leve desgaste interno, que se manifiesta en un ligero desbalanceo, también es posible observar que el máximo pulso corresponde a la frecuencia de operación de la máquina; y por consiguiente estas unidades aunque están usadas poseen un grado de vibraciones aceptables para cualquier instalación.

Como complementación de estas mediciones se investigó sobre el comportamiento de las vibraciones eléctricas, que son normalmente el resultado de fuerzas electromagnéticas desbalanceadas actuando sobre el rotor y estator. Dichas fuerzas

magnéticas desiguales puede que obedezcan a lo siguiente:

- a) Que el rotor no es redondo
- b) Gorriones de armadura excéntricas
- c) Desalineación del rotor y estator (esto es, el rotor no se halla centrado dentro del estator).
- d) Diámetro interior del estator tiene forma elíptica.
- e) Barras rotas
- f) Devanados abiertos o en corto circuito.

Por lo general, la frecuencia de vibración que resulte de dichos problemas eléctricos será de $1 \times \text{RPM}$ por lo que se parecerán mucho al desequilibrio. Un modo fácil que hay que revisar por si se presentan una vibración eléctrica es de observar el cambio habido en la amplitud de vibración en el momento mismo de desconectar la alimentación de la unidad.

La frecuencia de deslizamiento no es mas que la diferencia que existe entre las revoluciones por minutos del rotor y la frecuencia eléctrica o sincrónica del campo magnético rotatorio.

La frecuencia sincrónica del campo magnético será siempre igual a la frecuencia de la línea en que actúa el motor o a un submúltiplo exacto de la misma. A pesar de esto las RPM del rotor resultará ligeramente menor debido a la carga inherente del motor. Por lo tanto, si el motor tiene problemas eléctricos así como mecánico como el desequilibrio, se presentará efectivamente dos frecuencias vibratoriales distintas.

Como estas dos frecuencias se encuentran relativamente cercanas una de la otra, las amplitudes que arrojaran se sumaran y luego se restaran alternativamente a razón igual a la diferencia que exista entre sus frecuencias correspondientes. Esto tiene por resultado un notable latido uniforme, además de un movimiento cambiante en la amplitud de la vibración.

Los motores eléctricos tienen vibración inherente debido a las pulsaciones por torsión que se generan cuando el campo magnético rotatorio del motor activa los polos del estator.

La frecuencia de vibración que ocasionan las pulsaciones por torsión serán dos veces la frecuencia de la línea en que actúa el motor. Así es que si la frecuencia de línea es de 60 herz (60 ciclos por segundo) o sea 3.600 CPM, la frecuencia de las pulsaciones por torsión será de 7.200 CPM.

8.4 SELECCION DEL EQUIPO DE MEDICION DE VIBRACIONES PARA EL BANCO DE PRUEBA.

El equipo de medición que debe montarse debe cumplir con las siguientes características:

- a) Poseer un sensor del tipo sísmico con base magnética, que permita ser fijado directamente a la carcasa de la unidad sellada.
- b) El transductor debe tener una sensibilidad mayor de 500 mv por unidad de ingeniería en mils, pulg/seg o g's en unidades inglesas o métricas.
- c) Debe poseer un filtro que permita medir y visualizar amplitudes filtradas y ser ajustable a un rango mayor a 100 CPM.

- d) Proporcionar una fácil lectura; el transductor de entrada y su funcionamiento debe poseer un visor que muestre la amplitud de la vibración en las unidades solucionadas.
- e) El límite de las condiciones ambientales debe estar dentro del siguiente rango: temperatura de funcionamiento entre 0 y 40 °C, humedad relativa entre 80 y 90%.

El equipo de medición de vibración no se encuentra instalado en el banco de pruebas; su adquisición no está al alcance de los autores de este proyecto, por tanto la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar será quien decidirá su adquisición, para tal efecto deberán tener en cuenta las anteriores características, no obstante le presentamos las siguientes sugerencias:

- 1) Instalar un medidor de vibración Bently-Nevada, tipo TK 81 filtro sintonizable 80649-01 que incluye:

- 1 TK 81
- 1 Transductor de velocidad (Bently-Nevada tipo 9200)
- 1 Cable y varilla de extensión
- 1 Base magnética
- 1 Manual
- 2 Baterías

Pedido directo a Bently-Nevada Corporation. U.S.A.

Costo de pedido.....1.800.00 dólares

Véase anexo 15.a

- 2) Medidor Model 838 Machine Analyzer que incluye:

- 1 Acelerómetro Model 970, P/N 19697
- 1 Cable de acelerómetro, 12 ft, P/N 33572
- 1 base magnética P/N 09332
- 1 Cargador Model 429 (115-230V). P/N 32001
- 1 impresora incorporada

Pedido IRD Mechanalysis- U.S.A. 6150 Huntley Road Columbus, OH 43229-9851.

Costo de pedido.....5.300.00 dólares

Véase anexo 15.b.

3) Medidor CSI Model 1.900, Vibration analyzer:

Con pantalla incorporada que permite visualizar el espectro en el parámetro elegido (velocidad, aceleración, desplazamiento).

Pedido directo a CSI Computational Systems Incorporated, 835 Innovation Drive. Knoxville, Tennessee 37932.

Costo pedido.....3.950 dólares

Véase anexo 15.c.

9. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y FALLAS

9.1 POSIBLES FALLAS

En el banco de prueba, como el expuesto en este trabajo se pueden presentar las siguientes fallas:

- a) Falla de algún aparato o componente eléctrico por el uso de este, y no arranque el circuito seleccionado.
- b) Falla en la instrumentación (manómetros, etc.), no marca la medida correcta, presentando descalibración.
- c) Las medidas no serán las correctas si antes de cada medición no se calibran los instrumentos de medida.

También pueden presentarse problemas en la fuente de alimentación de el banco de prueba, pero son poco probables; puesto que no ocurren muy a menudo. Las principales condiciones para que el banco de prueba no funcione es que el voltaje de alimentación no sea el adecuado.

En lo posible si ocurre alguna falla se debe evitar que una persona ajena a los conocimientos de la instalación habrá o destape la caja de control de los circuitos que se encuentran en la parte posterior antes de diagnosticar que falla puede estar ocurriendo.

9.2 TIPOS DE FALLAS Y POSIBLES CAUSAS

- a) Algún componente eléctrico esté dañado

- fusibles fundidos.
- Relés de corriente con sobretensión.
- Relés potencial que se quede pegado.
- Capacitor de arranque y de marcha: pueden recalentarse y llegar a estallarse.
- Interruptores quemados por sobre carga.

b) Medidores eléctricos:

- Voltímetro: si hay una sobretensión, se queda la aguja indicadora pegada.
- Amperímetro: una elevada corriente y lo quema.
- Téster: puede ser por falta de energía de alimentación o por un daño en la bobina interior. (Quemada o desconectada).

c) Medidores mecánicos

- Manómetro: escapes en las mangueras de conexión. Otra falla es que el resorte pierde su elasticidad.

9.3 NORMAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Como se observa, nuestro banco de prueba trabaja con corriente proveniente de una fuente de poder; por eso lo primero que se debe hacer es verificar si hay o no una fuente de poder.

Identificar el compresor que se va a someter a prueba en el banco; lo mas corriente es que se identifique en la placa que trae cada compresor sobre la carcasa.

Seleccionar la cuña y la toma correspondiente al voltaje identificado en el compresor; visualizando (en la placa que aparece en el tablero) la configuración que se necesite para accionar el compresor.

Escoja el interruptor de rodillo necesario para el compresor a probar (si es de 110V monofásico). Dependiendo del caballaje que este presente en la placa identificadora.

Si el compresor es de 220V (1PH, 3 PH), es necesario accionar las cuñas (como se indica en la placa que está en el tablero). Además de los interruptores de 30 amperios. Es de suma importancia que no se conecten dos circuitos al mismo tiempo.

Fije la unidad sobre el porta-unidad, identifique la disposición de los terminales según se ilustra en el tablero:

- Negro: común

- Rojo: marcha

- Amarillo: arranque

Conecta los manómetros a la unidad compresora por medio de las mangueras; previamente conectados los manómetros, conecte los terminales al cable de

tomas de acuerdo con los colores preestablecidos.

Verificar todos los pasos anteriores y energize el sistema con las cuñas para que se estabilice el voltaje y el amperaje; por último energize la toma a la que ha sido conectada la unidad.

9.4 MANTENIMIENTO Y CONTROL

Hoy en día el mantenimiento juega un papel importante a nivel industrial; por eso es de suma importancia las recomendaciones que se van a hacer, debiéndose tener muy en cuenta:

- Mantenimiento general del mueble: el mueble en general debe presentar un buen aspecto para el usuario. Esto ayuda a mejorar las condiciones de trabajo en un sitio limpio y aseado, permitiendo un mejor desenvolvimiento del practicante.

Se debe mantener en un buen estado la pintura y la rigidez de la estructura; cuidar de que esta no presente óxido ni cascaneo. La parte que está en madera debe cuidarse de las plagas y la humedad.

Para que los accesorios eléctricos trabajen en perfecta estado debe verificarse, que todo lo que es cableado, soldaduras, las uniones o empalmes deben estar en buenas condiciones; es decir, no presentar sulfatación, ni desprendimientos en algunos de sus terminales.

A continuación se le hará una breve recomendación para cada elemento eléctrico:

- a) Voltímetro: los aparatos eléctricos medidores siempre es bueno que después de cada medición se calibren, lo mismo que hay que verificar que las tomas no estén sulfatadas, pues presentarán error en la medición.

- b) Amperímetro: de igual forma que el voltímetro es un aparato eléctrico de medición lo cual es bueno que esté perfectamente calibrado y sus contactos no sulfatados.

- c) Téster: es un aparato de medición, debe estar calibrado y las clavijas tener su presión adecuada y cabe anotar que no esté sulfatada. Se debe probar que siempre tenga continuidad.

- d) Relés de arranque: es claro que estos aparatos que vienen a continuación son aquellos que nos permiten el funcionamiento de la unidad compresora. Se debe comprobar que no estén pegados, ni los terminales sulfatados.

- e) Capacitor de arranque: igual que los relés estos deben de mantenerse los bornes o terminales limpios y verificar que estén almacenando energía.

- f) Capacitor de marcha: debe estar almacenando energía y sus terminales deben estar en óptimas condiciones.

- g) Protector térmico: verificar que sus contactos estén en óptimas condiciones y que el elemento protector no esté partido.

- h) Braker o cuñas: revisar los contactos es decir que estos tengan su presión correcta y que estén en la escala de amperaje a la cual vienen instalados.

- Accesorios mecánicos: estos aparatos no necesitan de la corriente eléctrica para funcionar, por consiguiente serán otros sus mantenimientos y revisiones.

a) Manómetros: estos aparatos para medir presiones altas y bajas, por eso después de cada medida es conveniente calibrarlos, y es bueno detectar la detección de fugas en lo manómetros después de instalarlos.

b) Acoples roscados: se presentan dos fallas, la primera es que se le pueden presentar fugas y la segunda que se le dañe la rosca.

10. MANUAL DE LABORATORIO

10.1 OBJETIVOS

- Generales

Conocer y analizar el comportamiento eléctrico y mecánica de las unidades selladas de refrigeración y aire acondicionado, e inducir al estudiante o consultar la hoja técnica de estos equipos.

- Específicos

Determinar y conocer como se alimentan las unidades selladas de refrigeración y aire acondicionado.

Realizar experimentalmente todas las pruebas que se hacen a este tipo de compresores.

Diagnosticar el estado de funcionamiento, efectuando las pruebas eléctricas y mecánicas.

10.2 PRUEBA DEL COMPRESOR

Se realiza con el ohmímetro (téster en el banco); coloque la escala de 1 a 30 ohmios; que resulta la mas apropiada para esta prueba en unidades de menos de 5 HP.

Deben examinarse:

- a) Compresor a tierra (corto - circuito): Se presenta cuando el aislamiento de los bobinados del motor dejan escapar la electricidad a la carcasa del compresor.

- b) Bobinado abierto: situación que ocurre cuando el conductor de uno de los bobinados del motor se separa.

- c) Rotor trabado: se presenta cuando los cojinetes del cigueñal se unen por falta de lubricación, o cuando un componente de compresión se rompe dentro del armazón con interferencia del cigueñal, en el caso de las unidades monofásicas, se presentará la misma situación del rotor trabado si el sistema tiene un componente defectuoso en el arranque. Estos problemas internos del compresor se pueden diagnosticar con el téster, de la siguiente manera: póngase el probador en cero (tester), toque las dos sondas o terminales a la vez, y pase el interruptor selector a la escala indicada, la aguja podría desviarse a cero ohmios, sino sucede así, háganse ajustes con la perilla para colocar el probador en cero.

10.2.1 PRUEBA DEL COMPRESOR A TIERRA.

lije la línea de succión en la unidad, de forma que el metal quede a la vista; ya sea con lija o cuchilla; colóquese un terminal en la superficie limpia y otro en el borne del compresor; haga buen contacto entre el terminal y cada uno de los bornes, si no hay desviación de la aguja en el probador, el compresor no está a tierra; en caso contrario el compresor está muy mal, no necesita examinarse más. Proceder a su reparación.

10.2.2 PRUEBAS DE BOBINADOS ABIERTOS

Colóquese un terminal de prueba en un borne, y con el otro terminal tóquese uno de los otros dos. La aguja del probador deberá indicar que hay continuidad en la bobina si no está abierta. Repítase el procedimiento hasta que se confirme el estado de las bobinas entre todos los bornes.

Los bobinados de un compresor trifásico son diferentes de los monofásicos. En el trifásico se leerá la misma cantidad de resistencia en los tres bobinados, esto no ocurre en los compresores monofásicos. La razón es porque el bobinado de arranque tiene mas vueltas en el alambrado para desarrollar más torque en la puesta en marcha. Como el bobinado sencillo tiene alambre de calibre más grueso con menos vueltas, las lecturas de resistencia serán diferentes en los dos bobinados. Sabiendo esto, es posible identificar los bobinados en un compresor monofásico.

Entre los bornes se apreciará lo siguiente:

Común y marcha: la lectura de resistencia es mínima.

Común y arranque: la lectura de resistencia es mediana.

Marcha y arranque: la lectura de resistencia es máxima.

10.2.3 PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO

Si un compresor zumba pero no arranca, significa que su motor está bloqueado; por consiguiente es necesario proporcionarle un alto torque de arranque, lo cual se consigue alimentando la unidad con un voltaje mayor que le proporcione esta condición en el arranque. Los compresores monofásicos a 110V se energizan en el circuito para unidades de 220V; si al primer intento la unidad no arranca es necesario intentar un par de veces más; si después de varios intentos no se

consigue el arranque, la unidad tiene serios problemas mecánicos y requiere ser abierta. Este procedimiento de aceleración del compresor aplicando un nuevo voltaje, es la prueba más sencilla para desbloquear el rotor, y es utilizado indistintamente sobre cualquier unidad.

10.3 PRUEBAS DE COMPRESION

10.3.1 FUNDAMENTACION TEORICA

Para cada temperatura hay una presión correspondiente a cada refrigerante; condición determinada por la estructura molecular de estos componentes y es usada por los fabricantes de compresores para su diseño; es decir, una unidad de refrigeración se diseña para un refrigerante.

Cuando se instalan medidores en una unidad de refrigeración para indicar las presiones operacionales, estas últimas deben coincidir con las del refrigerante que se requiere para un buen funcionamiento.

10.3.2 DETERMINACION DE PRESIONES

La eficiencia de las unidades compresoras se verificará, instalando la unidad al juego de medidores de alta y baja presión, la succión se instará al manómetro de baja presión y la descarga al manómetro de alta presión. Este acople se hace por medio de mangueras especiales que deben aguantar las presiones máximas de trabajo y por medio de conectores manuales.

Las presiones de carga que se utilizan para probar diversas unidades son de 150

Lb/pulg² mínimo, y deberán bombear por lo menos 22 pulgadas de Hg de vacío o bombear de 15 a 18 pulgadas de vacío contra una presión de carga de 100 a 225 Lb/pulg² (7,0307 a 15,819 Kg/cm²), para algunos casos se recomienda una presión de carga de 200 Lb/pulg² cuando no se prevee total hermeticidad en las válvulas de servicio de los manómetros y de la instalación en general.

Algunas unidades bombearán la presión que se requiere en unos cuantos segundos. Para tener la presión de carga es necesario arrancar la unidad con la válvula de succión totalmente abierta, hasta que el manómetro de alta llegue a 300 Lb/pulg². Luego apagar la unidad y verificar si el ajuste de las válvulas es el correcto. Se repite el proceso anterior apagando la unidad y verificando si la presión de alta se mantiene por encima de la presión de trabajo, dependiendo del refrigerante usado.

Es importante observar la rapidez con la que cae la aguja del manómetro de alta, cuando se apaga la unidad al alcanzar las 300 Lb/pulg². Si esta sucede en fracciones de segundos, es decir demasiado rápido, y no en forma gradual y lenta, significa que las válvulas internas de la unidad compresora están dañadas, por tanto la unidad no alcanzará el vacío requerido de prueba.

10.4 PREGUNTAS

1. ¿Porqué es indispensable identificar el común, arranque y marcha antes de alimentar una unidad?
3. ¿Se puede instalar componentes eléctricos de alto y bajo par de arranque en una unidad?. ¿Porqué?. ¿Cuándo?.
4. ¿Cuales son los tipos de motor que pueden encontrarse en estas unidades?.

¿Cuál es la principal diferencia entre ello?

5. ¿Porqué el momento de seleccionar una unidad motocompresora debe tenerse en cuenta si es para alta, media o baja y temperatura?. ¿Cómo influye esta condición en la eficiencia de la unidad?.

6. ¿Porqué cree usted que es importante conocer el nivel normal de vibraciones que presentan estas unidades?.

7. Una unidad acabada de salir de fábrica presenta un pico de pulsación a un ciclaje normal de 14 RPM. ¿Qué significa esto?. ¿Porqué este pulso de vibración es normal en estas máquinas?

8. ¿Porqué no se recomienda que en una instalación de aire acondicionado o refrigeración comercial; por ejemplo aire tipo ventana, un congelador o una unidad manejadora, las RPM del motor de los ventiladores no sean las mismas de la unidad compresora?

9. Conclusiones

11. CONCLUSION

Al terminar este proyecto de grado llegamos a las siguientes conclusiones:

1. El conocimiento teórico se afianzó en gran manera mediante las siguientes razones:

a) La consulta de los catálogos de las diferentes casas fabricantes de unidades motocompresoras, sirvió para analizar y aprender a seleccionar los componentes de protección, arranque y marcha de estos equipos; además de esto permitió conocer cual es el dispositivo auxiliar que resulta más adecuados de acuerdo al sistema de operación en donde se instale la unidad, es decir nos creó la conceptualización mínima necesaria, para saber si es conveniente utilizar componentes de alto par de arranque, o si por el contrario, los que proporcionan un par normal o bajo en el arranque nos aseguran eficiencia y economía en el montaje; criterios éstos que resultan de gran importancia cuando el ingeniero está al frente de montajes de este tipo

b) La realización de pruebas , la medición de variables eléctricas, resultan determinantes para establecer el estado de las unidades, además que permitió analizar y conocer los conceptos sobre alimentación y puesta en marcha de las unidades, lo que enfatizo el conocimiento de los diferentes circuitos para una buena y correcta utilización ,y puesta en marcha de estos equipos

2. El estudio sobre vibraciones, permitió conocer las características dinámicas

propias de éstos equipos en su puesta en funcionamiento, y por consiguiente se contribuyó en gran medida al diagnóstico de fallas mecánicas; la identificación de un rango de niveles vibratorios, catalogados como propios y que son el resultado de la acción dinámica de los diferentes mecanismos, permitió conocer cuando por efectos del desgaste mecánico, los niveles de desbalanceo producto del estado vibratorio anormal, empiezan a ser agresivos. El análisis vibratorio permitió conocer además los problemas, que en un momento dado pueden actuar directamente sobre una unidad en pleno funcionamiento, pero que son externo o ajenos a ellas, producto de la filtración de frecuencias aledañas de equipos circundantes y que en un momento dado esta consideración no es tomada en cuenta, y puede llevarnos a diagnósticos equívocos, como el de sacar de servicio un compresor por causa de excesivos movimientos vibratorios y ruidos que resultan nocivos en la instalación frigorífica.

3. El diagnóstico de falla para una unidad motocompresora, debe ser un estudio completo, que tenga alta certificación de calidad tal como lo exige la norma ISO-9000 aplicada al mantenimiento preventivo total; desafortunadamente en el campo de la refrigeración y el aire acondicionado, esos parámetros no son tomados en consideración, de ahí que no se tengan en cuenta los efectos dinámicos vibratorios como causa de análisis, y mucho menos como criterios de posibles daños ocurridos a los compresores herméticamente sellados.

BIBLIOGRAFIA

La fundamentación teórica es basada en bibliográficas que proporcionaron los conceptos necesarios para la realización de este proyecto. Entre ellos tenemos:

BOTER G. Camilo y MONTAÑO M. Rodrigo. Refrigeración y aire acondicionado. Editorial Prentice - Hall.

Catálogos de selección, uso y mantenimiento de casas fabricantes Copelaweld, Welded Hermetic, " Motor Compressors ". For the internacional market. Copeland Corporation U.S.A.

Compressores Herméticos Sicom Ltda. Sao Carlos - Sp - Brasil.

CREUS ALARCON, José. Tratado práctico de refrigeración automática.

EMERSON, Willian T. Curso práctico de refrigeración comercial.

FRENCH, Thomas. Dibujo técnico. Barcelona 1.971.

Norma Icontec 2050 sección 440. Código Eléctrico Nacional.

P. RAPIN. Prontuario del frío.

R. WARREN, Marsh. C. THOMAS, Olivo. Principios de la refrigeración, editorial Diana, segunda edición corregida y aumentada.

Revista ACAIRE. Volumen II, edición No. 5 de marzo de 1.993, edición No. 6 de julio de 1.993.

Rotating Machinery Information. Sistem and services. 1.990 - 1.991. Catálogo
35. Aniversary Edition; Bently Nevada. 1.990 Bently Nevada
Corporation Printed in U.S.A.

Sicom, compresores herméticos. Tecumseh, Sociedad Intercontinental de

Vibration Transducers. VITEC - Catálogos.

ANEXOS

ANEXO 1	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION
ANEXO2	COMPRESOR ABIERTO
ANEXO3	COMPRESOR SEMIHERMETICO
ANEXO4	COMPRESOR HERMETICO
ANEXO5	COMPRESOR CON MOTOR CSIR
ANEXO6	COMPRESOR CON MOTOR PTCSCR
ANEXO7	COMPRESOR CON MOTOR CSCR-CSIR
ANEXO8	IDENTIFICACION DE COMPRESORES
ANEXO9	ECUACION SENOSOIDAL DE ONDA VIBRATORIA
ANEXO10	SENSOR DE NO CONTACTO O DE PROXIMIDAD
ANEXO11	SISTEMA TRANSDUCTORES SISMICOS O DE VELOCIDAD
ANEXO12	ACELEROMETRO
ANEXO13	CATALOGOS COPELAWELD
ANEXO13.a	SELECCION DE UNIDADES MOTOCOMPRESORAS
ANEXO13.b	SELECCION DE COMPONENTES ELECTRICOS
ANEXO13.c	NORMA ICONTEC 2050, SECCION 440
ANEXO14	TABLAS DE SEVERIDAD

ANEXO 5	COMPRESOR CON MOTOR CSIR
ANEXO 6	COMPRESOR CON MOTOR PTCSCR
ANEXO 7	COMPRESOR CON MOTOR CSCR-CSIR

ANEXO 15 CATALOGOS-EQUIPOS DE MEDICION DE
VIBRACIONES

ANEXO 15.a BENTLY NEVADA

ANEXO 15.b IRD MECHANALYSIS

ANEXO 15.c CSI COMPUTACIONAL SISTEM INCORPORATED

ANEXO 16 MEDICIONES VIBRATORIAS

ANEXO 16.a UNIDADES NUEVAS

ANEXO 16.b UNIDADES USADAS

ANEXO 13.c NORMA ICONTEC 2050, SECCION 440