

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO PARA UN SISTEMA
DE AIRE ACONDICIONADO TIPO SPLIT MEDIANTE EL MONITOREO DE LAS
VARIABLES DE OPERACIÓN.**

**CHICA MARTINEZ ESTEBAN
ESTRADA GARCIA DIEGO FERNANDO**

**I.U.P.B
FACULTAD DE MECÁNICA
INGENIERIA MECÁNICA**

**MEDELLÍN
2016**

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO PARA UN SISTEMA
DE AIRE ACONDICIONADO TIPO SPLIT MEDIANTE EL MONITOREO DE LAS
VARIABLES DE OPERACIÓN.**

**CHICA MARTINEZ ESTEBAN
ESTRADA GARCIA DIEGO FERNANDO**

**Director: SALAZAR HINCAPIE ARLEY
INGENIERO MECANICO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR A EL TITULO DE INGENIERO
MECANICO**

**I.U.P.B
FACULTAD DE MECÁNICA
INGENIERIA MECÁNICA**

**MEDELLÍN
2016**

INTRODUCCION

Los sistemas de aire acondicionado actualmente constan de un plan de mantenimiento de muy baja fiabilidad, regular y poco eficiente, estos solo se basan en las recomendaciones, experiencia y manuales de operación proporcionados por el fabricante; despreciando variables que afectan el buen desempeño del aire acondicionado.

Se desarrolló un programa de mantenimiento proactivo el cual garantiza la oportuna intervención, el cual tiene en cuenta la protección y vida útil de los equipos; en base a esto se presenta un mantenimiento proactivo basado en la condición, mediante la adquisición de datos proporcionados por el monitoreo de las variables de operación en tiempo real.

1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

El mantenimiento que convencionalmente se le realiza a los sistemas de aire acondicionado, no tiene un fundamento el cual brinde la información precisa y necesaria para una intervención eficiente y que garantice el buen funcionamiento del sistema.

Para los sistemas de aire acondicionado no existe un manual o programa de mantenimiento pertinente para realizar una intervención al sistema, que de manera óptima proporcione un buen rendimiento del sistema y de la vida útil de los componentes del mismo, puesto que las intervenciones que se realizan son de base empírica, es decir basadas en experiencias de los operarios, pero estos no tienen en cuenta que el mantenimiento de estos sistemas depende del ambiente donde sea instalado, por ejemplo: se dice que su intervención es de aproximadamente 4 meses, pero no es lo mismo intervenir cada cuatro meses un sistema de aire acondicionado en una empresa textil que en un spa; de aquí nace la necesidad de elaborar un plan de mantenimiento, el cual pueda ser definido de acuerdo a un sistema de monitoreo el cual proporcionara el estado funcional pertinente de los equipos y programar las actividades de mantenimiento cuando el sistema requiera de una intervención.

¿CUANDO SE DEBE REALIZAR OPORTUNAMENTE EL MANTENIMIENTO EN LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO?

2. JUSTIFICACION

Mantenimiento Basado en la Condición (MBC). Es único porque es predictivo y preventivo. Este programa le da todas las herramientas que necesita para extraer todas las horas posibles a su maquinaria.

MBC se basa en la data que predice con precisión el rendimiento y desgaste de la máquina de manera que se puedan tomar las medidas correctivas para optimizar la disponibilidad de máquina y con costos operativos más bajos.

Los costos y el tiempo de operación de los equipos sufren un cambio significativo con relación a él plan actual de mantenimiento que manejan y a el sistema de monitoreo que se implanto; ya que si el sistema se interviene por tiempo no se tendrá la manera de saber el estado actual de todos los componentes del sistema, es decir puede que los filtros a diferencia de los serpentines estén más limpios, pero acá de igual manera se intervienen los dos, mientras que el sistema de monitoreo proporciona el momento justo para su mantenimiento, por su configuración este proporciona exactamente cual componente del sistema requiere de la intervención.

Este proyecto brinda la posibilidad de desarrollar capacidades investigativas y de aplicación, las cuales ayudan a resolver problemas cotidianos referentes a los tipos y formas de emplear mantenimientos que sean proactivos y brinden las mejores condiciones tanto para el equipo como los costos que acarrea emplear cualquier tipo de mantenimiento.

3. OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar de un plan de mantenimiento proactivo para un sistema de aire acondicionado tipo Split mediante el monitoreo de las variables de operación.

ESPECIFICOS

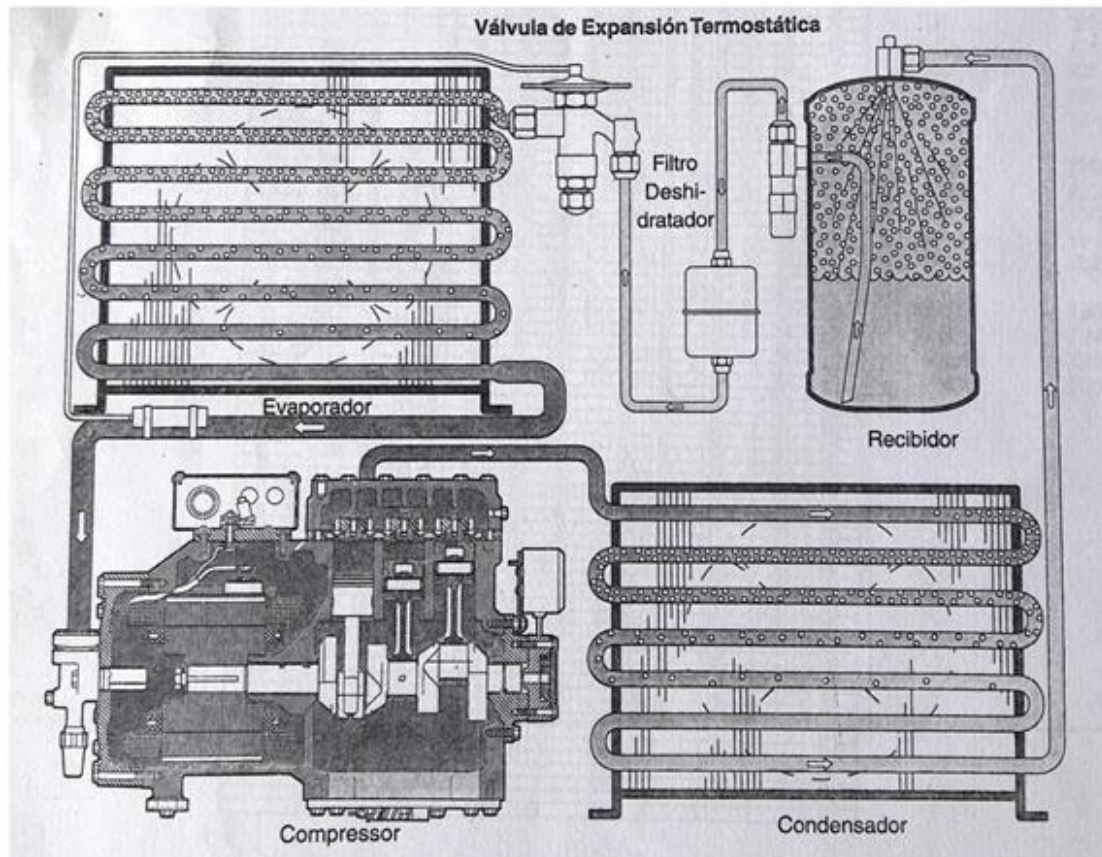
- *Determinar el estado ideal de operación del sistema de aire acondicionado bajo condiciones normales de funcionamiento.*
- *Determinar la desviación de las variables de operación del sistema mediante la alteración del estado de los componentes del sistema.*
- *Identificar el momento adecuado para realizar el mantenimiento y que parte del equipo intervenir.*

4. REFERENTE TEORICO

4.1 CICLO DE REFRIGERACION

La refrigeración continua puede lograrse por diferentes procesos. En la gran mayoría de las aplicaciones y casi exclusivamente en las de pequeña potencia, el sistema de compresión de vapor, comúnmente llamado ciclo básico de compresión, se usa para el proceso de refrigeración. Sin embargo, se han usado exitosamente sistemas de absorción en diversas aplicaciones. En equipos mayores se emplean los sistemas centrífugos, que son simplemente una adaptación del ciclo de compresión.

Figura 4-1
Ciclo de Refrigeración



FUENTE: © Emerson Climate Technologies, Inc.

En este estudio nos centramos exclusivamente en el ciclo básico de la refrigeración por compresión.

Existen dos tipos de presiones en el sistema de compresión: la de evaporación o baja presión y la de condensación o alta presión.

El refrigerante actúa como medio de transporte para mover el calor del evaporador al condensador donde es disipado a la atmósfera. Un cambio de estado de líquido a vapor y viceversa permite al refrigerante absorber y rechazar grandes cantidades de calor en forma eficiente.

El ciclo básico de la refrigeración opera de la siguiente forma: el refrigerante líquido a alta presión es alimentado al receptor a través de la tubería de líquido, pasando por un filtro secador al elemento de control que se para el lado de alta presión del de baja. Existen varios instrumentos de control que pueden emplearse, pero en esta aplicación consideraremos la válvula de expansión termostática.

La válvula de expansión controla la alimentación del refrigerante líquido al evaporador. Por medio de un pequeño orificio reduce la presión del refrigerante a la de vaporización o baja presión, la reducción de presión en el refrigerante líquido, produce que esta hierva o se vaporice hasta que el refrigerante alcance la temperatura de saturación correspondiente a la de su presión. Entonces, el refrigerante a baja temperatura pasa a través del evaporador, y el calor se conduce a través de las tuberías hacia el refrigerante, haciendo que la ebullición continúe hasta que el refrigerante se encuentre totalmente evaporado.

La válvula de expansión regula el flujo a través del evaporador conforme sea necesario para mantener una determinada diferencia de temperatura a cierto sobrecalentamiento deseado entre la temperatura de evaporación y el vapor que sale del evaporador. A medida que la temperatura del gas que sale del evaporador varía, el bulbo de la válvula de expansión censa esta variación y actúa para modular la alimentación a través de la válvula de expansión para adaptarse a las nuevas necesidades.

El vapor refrigerante que sale del evaporador pasa a través de la línea de succión hacia la entrada del compresor. El compresor toma el vapor a baja presión, lo bombea y comprime aumentando tanto su presión como temperatura. El vapor caliente a alta presión sale del compresor por su válvula de escape hacia el condensador donde es enfriado por algún medio externo. En sistemas enfriados por aire se usa un ventilador y un condensador con aletas. A medida que el vapor refrigerante alcanza la temperatura de saturación correspondiente a la alta presión

del condensador, el vapor se condensa y fluye al receptor, permitiéndose nuevamente el ciclo. Mientras el compresor funcione mantiene en forma continua el proceso de refrigeración.

- **EFEECTO EN EL CAMBIO DE PRESION DE SUCCION**

Cuando otros factores se mantienen igual, si la presión de succión se reduce el volumen específico ($\frac{ft^3}{lb}$) del vapor que retorna a el compresor aumenta. La densidad ($\frac{lb}{ft^3}$) y el volumen específico son inversos, porque la primera se reduce. La habilidad de bombeo de un compresor (CFH o CMH) está fijada por su desplazamiento y su velocidad. La reducción en densidad el vapor de succión disminuye el peso (lb/h) del refrigerante bombeado, resultando en una disminución de la capacidad del compresor (BTU/h) (Kcal/h). La pérdida de capacidad con la reducción de presión de succión es extremadamente rápida con la desventaja de que la energía eléctrica para realizar su trabajo no se reduce en la misma proporción; la relación BTU/Watt o Kcal/Watt que requiere el compresor decrece más rápidamente con el cambio en presión de succión. Esto se refleja en el funcionamiento del compresor por unidad de energía eléctrica consumida, la Relación de Eficiencia de energía consumida (EER o COP).

En adición al aumento del volumen específico al reducir la presión de succión, se aumenta la relación de compresión. Para un funcionamiento mejor en capacidad, economía de operación y reducción en la temperatura de descarga, es muy importante que los sistemas de aire acondicionado y refrigeración operen con la mayor presión de succión posible para una aplicación.

- **EFEECTO EN EL CAMBIO DE LA PRESION DE DESCARGA**

A un aumento de la presión de condensación, comúnmente llamada presión de descarga, da como resultado un aumento en la relación de compresión. Esto produce una consecuente pérdida de eficiencia volumétrica. Aun cuando la pérdida de capacidad no es tan grande como la perdida causada por una disminución en la presión de succión, de todas maneras es bastante perjudicial.

Para economía de operación y para obtener mayor capacidad, la presión de descarga debe ser tan baja como sea posible, pero nunca menor a la equivalente de 70°F (21,1°C).

- **EFFECTOS EN LAS PERDIDAS DE PRESION EN LA LINEA DE DESCARGA Y EN EL CONDENSADOR**

La pérdida de presión causada por la fricción conforme el gas refrigerante fluye a través de la línea de descarga del condensador, reduce la capacidad del compresor, debido a las altas presiones y menor eficiencia volumétrica. Puesto que la temperatura de condensación no se afecta mucho, las pérdidas de presión menores de 5 Psig ($0,352 \text{ Kg/cm}^2$) tienen muy poco efecto en la capacidad del sistema.

Sin embargo, el consumo de potencia eléctrica debido al aumento en la presión de descarga. Para una mejor economía de operación deben evitarse las presiones excesivamente altas en la línea de descarga.

- **EFFECTOS DE LA CAIDA DE PRESION EN LA LINE DE LIQUIDO**

Si la presión de un refrigerante líquido cae debajo de la temperatura de saturación, una porción del líquido se transformara en vapor para enfriar el resto del refrigerante líquido a la nueva temperatura de saturación. Esto puede ocurrir en la línea de líquido si la presión cae lo suficiente, debido a la fricción. O aun en subida vertical. Si el líquido se evapora, la alimentación a través de la válvula de expansión puede ser errática e inadecuada para la demanda del evaporador.

Al sub-enfriar el refrigerante líquido después de su condensación por una cantidad suficiente para compensar la caída de presión asegurara una columna de líquido en la válvula de expansión. A 120°F (49°C) de temperatura de condensación, un sub-enfriamiento de 10°F (5,6°C) protegerá la formación de vapor en la línea de líquido de la caída de presión mostrados en la tabla 4-1.

Tabla 4-1
Caída de presión en la Línea de Líquido

Refrig.	Caída de presión (psig)	Refrig.	Caída de presión (psig)	Refrig.	Caída de presión (psig)
R-12	21.3	R-22	34.5	R-502	33.9
R-401A	25.9	R-407C	38.5	R-402A	41.1
R-401B	27.2	R-410A	57.7	R-408A	28.5
R-134a	24.8			R-404A	39.4
R-409A	25.4			R-507	41.3

FUENTE: Copeland Corporation, SIDNEY, OHIO U.S.A

- **EFFECTO DE LA CAIDA DE PRESION EN EL EVAPORADOR**

Las caídas o pérdidas de presión que suceden en el evaporador debido a la fricción del fluido, hacen que la presión en la salida de este sea inferior a la presión del refrigerante a la entrada del evaporador, mayor será la diferencia de presiones entre el refrigerante a la entrada del evaporador y a su salida.

En la medida que se reduce la presión de succión a la salida del evaporador, aumenta el volumen específico del gas que regresa al compresor, y por lo tanto descende la cantidad de refrigerante bombeado por el compresor. Así, una caída de presión en el evaporador causa una reducción de capacidad en el sistema. Es importante entonces que se calcule correctamente el evaporador para que no existan grandes pérdidas de presión.

La tabla 4-2 es una caracterización realizada usando un compresor típico de 7,5 HP.

Tabla 4-2
Caída de Presión en la Línea de Succión

R-12			
Temp Evaporación	Caída de Presión en la Línea de Succión	Presión en el Compresor	Capacidad BTU/hr
-10°F	1 psi	3.5 psig	27,490
-10°F	2 psi	2.5 psig	25,950
-10°F	3 psi	1.5 psig	24,410
-10°F	4 psi	0.5 psig	22,100
R-507			
Temp Evaporación	Caída de Presión en la Línea de Succión	Presión en el Compresor	Capacidad BTU/hr
-10°F	1 psi	24 psig	40,400
-10°F	2 psi	23 psig	39,400
-10°F	3 psi	22 psig	37,400
-10°F	4 psi	21 psig	35,500

FUENTE: Copeland Corporation, SIDNEY, OHIO U.S.A

4.2 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LAS OPERACIONES DE SERVICIO

La instalación y mantenimiento del equipo de refrigeración es una de las tareas más exactas y exigentes del servicio al campo. Además del cuidado necesario en la construcción de equipos de alta precisión con tolerancias muy cerradas, los refrigerantes introducen un riesgo adicional. El técnico de servicio tiende a subestimar el cuidado necesario para la protección adecuada del sistema.

Cuando el refrigerante es envasado y controlado apropiadamente, su trabajo es satisfactorio, no siendo así cuando se descuida. A la oportunidad dada, se escapa. Si se une con sustancias como el aire y la humedad, se mezcla formando ácidos que afectan el sistema. Y si se deja sin control por pocas horas, puede migrar a través del sistema resultando en fatales consecuencias en el arranque del compresor. Cuando se manejan refrigerantes el técnico nunca debe descuidarse debe permanecer siempre alerta y precavido.

- **CONTAMINANTES**

La limpieza absoluta es esencial en un sistema de refrigeración. El funcionamiento confiable y libre de problemas de la unidad no se compromete.

Al contrario de otros equipos los sistemas de refrigeración son vulnerables al ataque de dos contaminantes, el aire y el agua, los cuales no pueden verse. Si uno o ambos están presentes dentro del sistema, se unen rápidamente para atacar al aceite y al refrigerante, puede causar corrosión, depósitos de cobre y formación de ácidos, sedimentos y otras reacciones dañinas.

Las soluciones anticongelantes y otros aditivos pueden crear reacciones químicas indeseables en un sistema. Ningún tipo de aditivo se recomienda para ser usado.

Es asombroso y a la vez increíble, ver muchas materias extrañas que pueden entrar a un sistema de refrigeración y terminar en el compresor. Pueden encontrarse limaduras de hierro, virutas, polvo, soldadura, fundente, astillas de metal, pedazos de acero, lana, arena de limpieza, alambre y fibra de cepillos, pedazos de tubo de cobre, entre otros. El examen de los compresores, indica que muchas de las fallas pudieron ser evitadas si los contaminantes hubieran sido sacados del sistema en el momento de la instalación. Este tipo de problemas es encontrado en la mayoría de los sistemas de refrigeración y parecerá increíble que

tantos contaminantes se encuentren en el sistema debido únicamente al descuido de la instalación.

Al soldar la tubería y las conexiones de cobre, invariablemente aparecerá óxido de cobre en el interior de los tubos a menos de que nitrógeno u otro gas fuerte sea circulado por los tubos en el momento de soldar. El óxido puede convertirse en un abrasivo poderoso, taponar venas de lubricación, dañar chumaceras, tapar filtros, y provocar otros daños.

El cuidado razonable durante la instalación y el servicio pueden limitar la contaminación en el sistema a un nivel aceptable.

- **MANEJO SEGURO DE GASES COMPRIMIDOS CUANDO SE PRUEBAN O LIMPIAN SISTEMAS DE REFRIGERACION**

Cuando el uso de un gas inerte es necesario para pruebas de alta presión o para barrer un sistema contaminado, se recomienda el uso de nitrógeno seco (N) o del dióxido de carbono (CO) seco. A 70°F (21°C) el nitrógeno seco en cilindro "K" puede estar a presiones de 2200 Psig o más y el dióxido de carbono a la misma temperatura puede estar a presiones que exceden 830 Psig. Extremo cuidado debe tenerse en el uso de gases comprimidos, puesto que el manejo descuidado o incorrecto puede ser muy peligroso.

El oxígeno y acetileno nunca debe ser usado para pruebas de presión o limpieza de sistemas de refrigeración, ya que su uso puede resultar en una explosión violenta. El oxígeno explota al contacto con el aceite y el acetileno explota espontáneamente cuando baja su presión a menos de que se disuelva en un agente especial como el usado en los cilindros de acetileno.

- **MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Es casi imposible determinar en cuanto tiempo se desgastará el compresor de un sistema de refrigeración, debido a que en raras ocasiones el compresor falla por desgaste normal. Casi siempre la falla del compresor resulta del mal funcionamiento en el sistema eléctrico o del refrigerante, o por operaciones excesivas del sistema fuera de los límites de diseño del mismo.

Prácticamente en la mayoría de los casos, las indicaciones de mala operación son claramente evidentes antes de la falla de compresor. Si el problema es detectado y corregido a tiempo, un gran porcentaje de las fallas del compresor pueden ser evitadas. Si el inspector está alerta en la vigilancia de la operación del sistema para detectar indicios anormales. Los fabricantes de este tipo de sistemas de

refrigeración recomiendan realizar una inspección periódica de mantenimiento la cual puede ser el mejor factor en la reducción de costos de mantenimiento. Las inspecciones deberán hacerse tres veces por año y una inspección más frecuente durante los periodos de uso pesado.

A continuación se mencionaran algunos de los componentes principales del sistema que ayudaran a detectar las fallas.

- **Revisión con el personal de mantenimiento**

Siempre debe revisarse con el personal de mantenimiento el uso del equipo para ver si ha sido reportada una operación errónea o anormal. En ocasiones las operaciones anormales detectadas por el personal no pasan a ser analizadas por no entender su significado, por ello se debe preguntar particularmente por la operación del control de seguridad de presión de aceite o de otros dispositivos de seguridad del sistema.

- **Presiones y temperaturas de operación**

Se debe revisar las presiones de succión y descarga para asegurarse que están en el rango normal para la aplicación y de una temperatura media de condensación.

Revisar la temperatura de la cabeza del compresor al tacto. Pues una cabeza anormalmente fría puede ser sinónimo de que hay componentes rotos o se está regresando excesivamente refrigerante liquido al compresor. También una temperatura demasiado alta puede indicar que hay componentes abiertos, sopladados o un enfriamiento inadecuado del compresor.

- **Condición y nivel del aceite**

El nivel del aceite de un compresor debe estar en o un poco arriba del centro de la mirilla. Se debe tener en cuenta que pequeñas variaciones en el nivel de aceite pueden presentarse durante el ciclo de operación, pero mientras que el nivel se mantenga en el rango de la mirilla tales fluctuaciones no son dañinas.

Los cambios característicos en el aceite como el color, la viscosidad, y su olor son sinónimo de que se debe drenar ligeramente y hacer un mantenimiento a el sistema, incorporando cambios de filtros, empaques y general un ciclo, corroborando finalmente que el aceite quede limpio y como nuevo.

- **Carga del refrigerante al sistema**

Todos los sistemas deben tener una alimentación del líquido únicamente en la válvula de expansión para asegurar la operación adecuada. Burbujas o evaporaciones pueden indicar falta de refrigerante, pero la evaporación también puede ser causada por restricciones en la línea de líquido, válvulas de expansión sin líquido, cambios súbitos en la presión de condensación y por cambios repentinos de la carga de refrigeración.

La falta de refrigerante puede resultar en la falta de refrigeración, pérdida de aceite en el evaporador y el sobrecalentamiento del evaporador. Una sobrecarga de refrigerante puede contribuir a altas presiones de descarga, inundación de refrigerante líquido, golpes de líquido, resultando en problemas de lubricación en el compresor.

- **Filtro deshidratador en la línea de líquido**

Si el deshidratador está congelado o si existe un cambio de temperatura perceptible, entre la entrada y la salida de la línea de líquido del deshidratador y una excesiva caída de presión, este deberá ser cambiado.

- **Control del refrigerante líquido**

Revise cualquier indicación de inundación de refrigerante líquido tales como el compresor sudado o congelado, oxidación de la valvular de succión o del compresor, operación del control de presión del aceite, golpe del líquido audible o excesiva formación de espuma en el cráter.

- **Filtro en la línea de succión**

Revise la caída de presión a través del filtro en la línea de succión y cambie el elemento si la caída de presión excede el límite máximo recomendado por el fabricante.

- **Evaporadores**

Revise si los serpentines están congelados y límpielos. Revise las temperaturas que serán mantenidas en el espacio refrigerado.

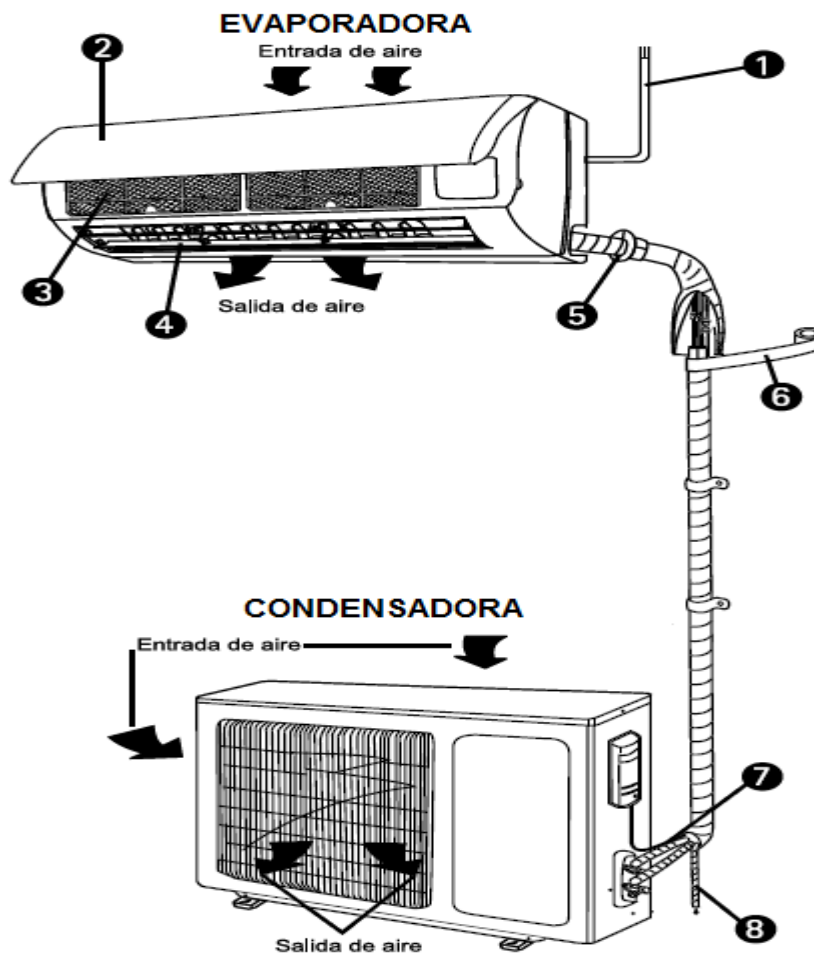
- **Manejadoras de aire acondicionado**

Revise los filtros de aire y si es necesario cámbielos. Revise la condición de las bandas y lubrique el motor y las chumaceras de la flecha.

5. METODOLOGIA

En la Institución Universitaria Pascual Bravo, se cuenta con un sistema de aire acondicionado proporcionado por un equipo Split marca Westinghouse el cual está ubicado en el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado del bloque 2, que utilizamos para realizar el desarrollo de nuestro estudio, la figura y tabla 5-1 muestra los componentes principales del sistema de aire acondicionado a los cuales se le instalaron 9 sensores de temperatura, 1 de corriente y 2 transductores de presión de 0 a 200 Psi y de 0 a 400 Psi y la tabla 5-2 contiene las especificaciones técnicas más relevantes a tener en cuenta para el óptimo funcionamiento del equipo.

Figura 5-1
ESQUEMA AIRE ACONDICIONADO SPLIT



FUENTE: Manual de Usuario Aires Acondicionados Mini Split

Tabla 5-1

PARTES DEL AIRE ACONDICIONADO	
INDICADOR	DESCRIPCIÓN
1	Cable de potencia
2	Panel frontal
3	Filtros
4	Deflectores
5	Tubo pasa cables
6	Cinta protectora
7	Cable de conexión
8	Manguera de drenaje

FUENTE: Manual de Usuarios Aires Acondicionados Mini Split

Tabla 5-2

FICHA TECNICA DEL AIRE ACONDICIONADO	
DESCRIPCION	CAPACIDAD
MODELO	WCHXM-09ACR1
VOLTAJE	110~120 V / 60 Hz
CAPACIDAD DE REFRIGERACION	8600 BTU/h
COMPRESOR	RLA 6.5A LRA 52A
REFRIGERANTE	R-410A 900g
PRESION ALTA	450 Psi
PRESION BAJA	235 Psi

FUENTE: WETINGHOUSE AIRE ACONDICIONADO MINI SPLIT

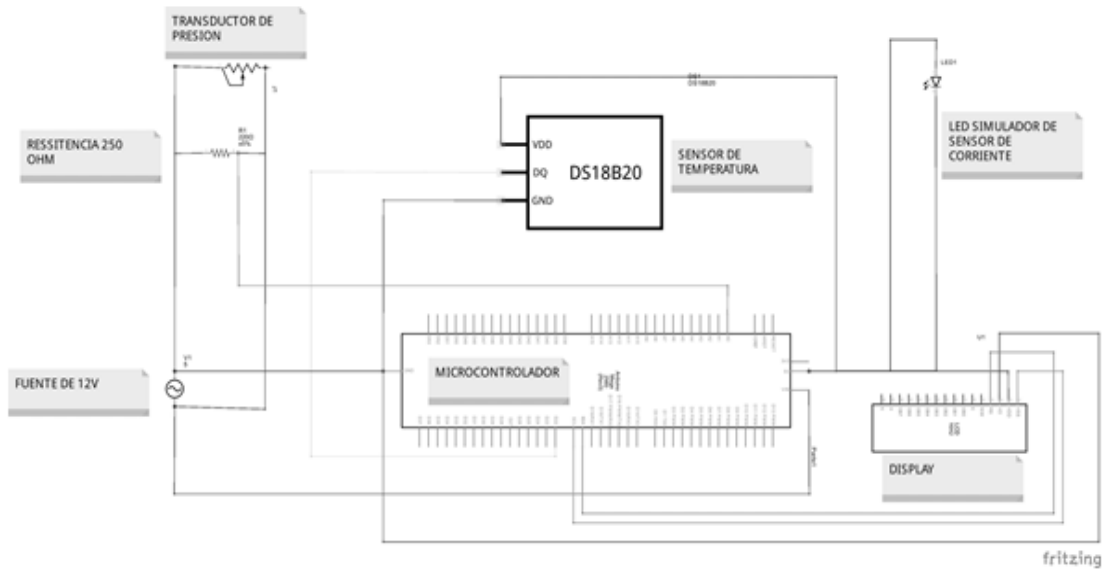
Fase 1: MONTAJE

Se realizó la instalación de los sensores de presión en las líneas de succión (Baja) y descarga (Alta) del compresor (figura-tabla 5-3), el sensor de corriente en el cable de conexión principal (figura-tabla 5-4) y una redistribución de los de temperatura a la entrada y salida de aire de la condensadora y evaporadora, así como en las líneas de succión, descarga y en la carcasa del compresor (figura-

tabla 5-5). En la figura 5-2 se muestra la conexión eléctrica realizada para cada uno de ellos.

Figura 5-2

DIAGRAMA ELECTRO DEL SISTEMA DE MONITOREO



FUENTE: INGS. Chica Martinez, Estrada Garcia

Figura 5-3

TRANSDUCTOR DE PRESION



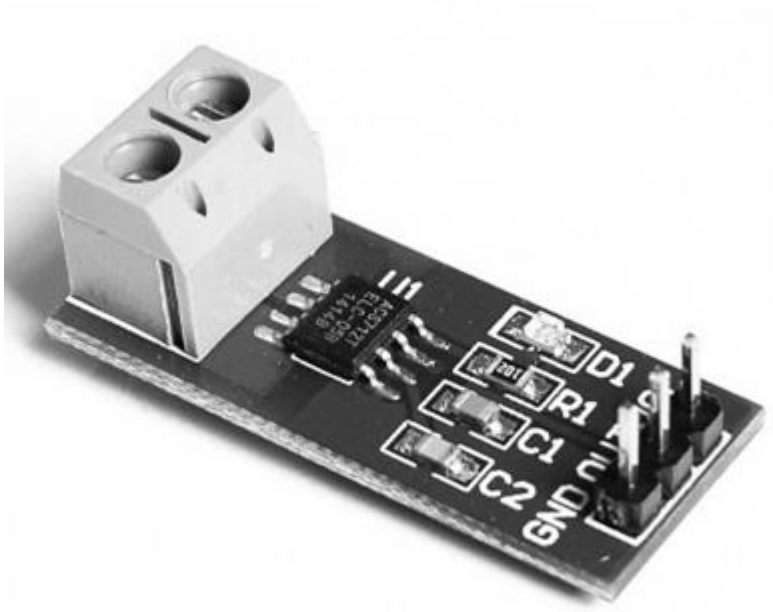
FUENTE: Instrumentacion Dwyer

Tabla 5-3

FICHA TECNICA TRANSDUCTOR DE PRESION		
DESCRIPCION	CAPACIDAD	
MODELO	628CR-14-GH-P4-E4-S1	628CR-10-GH-P4-E4-S1
SEÑAL	4-20 Amp	4-20 Amp
Máxima Presión	400 Psi	200 Psi
Tipo de Rosca	NPT 1/4"	NPT 1/4"

FUENTE: Instrumentación dwyer

Figura 5-4



FUENTE: Allegro MicroSystems

Tabla 5-4

FICHA TECNICA SENSOR DE CORRIENTE	
DESCRIPCION	CAPACIDAD
MODELO	GY-712-20A
SEÑAL	4.5 - 5 V
RANGO DE MEDIDA	± 20 Amp
SENSIBILIDAD	100 mV/A
PRECISION	± 1.5 %

FUENTE: Allegro MicroSystems

Figura 5-5



FUENTE: Dfrobot

Tabla 5-5

FICHA TECNICA SENSOR DE TEMPERATURA	
DESCRIPCION	CAPACIDAD
MODELO	DS18B20
SEÑAL	3-5 V
RANGO DE TEMPERATURA	(-)55 a 125 °C
RESOLUCION	9 a 12 Bits
PRECISION	± 5 %

FUENTE: Dfrobot

Fase 2: CARACTERISIZACION

Con una limpieza de filtros e impurezas que ya habitaban las unidades condensadora y evaporadora (figuras 5-6 y 5-7), así como el drenaje y recarga de refrigerante nuevo llamado r-410a para el cual se diseñó el equipo, se simulo el estado ideal de funcionamiento del sistema de aire acondicionado la cual se denominó condiciones estables del sistema, ya que los filtros se encontraban con 0% de contaminación y con las cuales se realizó la comparación de la desviación de cada variable en cada fase de contaminación con su posterior análisis. La tabla 5-6, muestra los valores estándar del sistema correspondiente al 0% de contaminación en ambas unidades.

Figura 5-6
FILTRO UNIDAD CONDENSADORA



FUENTE: INGS. Chica Martinez, Estrada Garcia

Figura 5-7
FILTRO UNIDAD EVAPORADORA



FUENTE: INGS. Chica Martinez, Estrada Garcia

Tabla 5-6
VALORES CONDICIONES ESTABLES

DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
Corriente	Amp	5,25
Presión Alta	Psig	282,15
Presión Baja	Psig	116,38
Temperatura Carcasa	°C	58,82
Temperatura Línea Succión	°C	19,20
Temperatura Línea Descarga	°C	40,64
Temperatura Succión Condensador	°C	22,40
Temperatura Descarga Condensadora	°C	28,68
Temperatura Succión Evaporadora	°C	22,33
Temperatura 1 Descarga Evaporadora	°C	9,33
Temperatura 2 Descarga Evaporadora	°C	10,35

FUENTE: INGS. Chica Martinez, Estrada Garcia

Fase 3: CONTAMINACION UNIDAD CONDENSADORA

Para determinar la desviación de las variables a tener en cuenta en el sistema, para identificar el momento justo de intervención del sistema y diagnosticar las fallas presentes en el, se procedió a alterar solo el filtro de la unidad condensadora con material reciclable como el cartón (figura 5-8) simulando partículas de contaminación, incrementando en un 10% el nivel de contaminación presente. La tabla 5-7 muestra los valores obtenidos para los diferentes niveles de contaminación.

Figura 5-8
FILTRO OBSTRUIDO UNIDAD CONDENSADORA



FUENTE: INGS. Chica Martinez, Estrada Garcia

Tabla 5-7

VALORES SEGUN NIVEL DE CONTAMINACION EN LA CONDENSADORA

Alteracion	Compresor					
Contaminacion	Corriente	P Alta	P Baja	T Carcasa	Linea Suc	Linea Desc
%	Amps	Psig	Psig	°C	°C	°C
0	5,25	282,15	116,38	58,82	19,20	40,64
10	5,06	273,23	117,29	58,00	19,20	39,23
20	5,19	299,63	119,27	62,81	21,10	42,58
30	5,13	317,85	121,40	65,71	23,00	45,48
40	5,31	310,56	115,90	62,18	19,07	41,46
50	5,86	363,35	117,98	70,43	22,85	48,75
60	5,93	379,79	117,63	74,69	24,43	51,72
70	6,02	384,15	118,85	74,84	23,79	51,60
80	6,15	390,58	116,52	75,69	23,26	50,89
90	6,65	412,96	110,50	83,12	24,46	55,96

Alteracion	Condensador		Evaporador		
Contaminacion	T Succion	T Des Cond	T Succion	T1 Des Evap	T2 Des Evap
%	°C	°C	°C	°C	°C
0	22,40	28,68	22,33	9,33	10,35
10	21,02	27,32	21,31	10,04	11,07
20	23,36	29,84	22,03	10,73	11,54
30	24,75	30,98	22,68	11,19	11,94
40	20,65	27,84	20,65	9,68	10,74
50	25,06	31,49	22,13	10,55	11,24
60	25,86	33,19	22,93	11,56	12,14
70	24,65	32,23	23,06	11,85	12,51
80	23,96	29,60	22,22	11,64	12,38
90	23,42	29,00	21,79	12,96	13,33

FUENTE: INGS. Chica Martinez, Estrada Garcia

Fase 4: CONTAMINACION UNIDAD EVAPORADORA

El método por el cual simulamos las obstrucciones por contaminación en el filtro de la unidad evaporadora (figura 5-9), son áreas que aumentan en un 10% con respecto al área total de la unidad y el material que utilizamos fue hojas de papel.

En la tabla 5-8 podemos observar los valores resultantes de esta prueba, teniendo en cuenta que la unidad condensadora para esta fase se encontraba en el 0% de obstrucción.

Figura 5-9

FILTRO OBSTRUIDO UNIDAD EVAPORADORA



FUENTE: INGS. Chica Martinez, Estrada Garcia

Tabla 5-8

VALORES SEGUN NIVEL DE CONTAMINACION EN LA EVAPORADORA

Alteracion	Compresor					
	Corriente	P Alta	P Baja	T Carcasa	Linea Suc	Linea Desc
Contaminacion	Amps	Psig	Psig	°C	°C	°C
%						
0	5,25	282,15	116,38	58,82	19,20	40,64
10	5,33	295,18	115,22	62,18	21,41	42,85
20	5,21	285,08	115,58	60,46	20,57	41,27
30	5,13	271,88	112,63	58,50	19,17	39,72
40	5,24	285,38	113,63	60,25	19,91	41,61
50	5,14	281,27	108,50	58,21	18,77	40,46
60	5,11	273,04	103,93	56,38	16,14	39,11
70	5,18	259,15	98,57	50,32	13,94	35,88
80	5,13	266,18	83,73	41,73	18,41	32,86

Alteracion	Condensador		Evaporador		
	T Succion	T Des Cond	T Succion	T1 Des Evap	T2 Des Evap
Contaminacion	°C	°C	°C	°C	°C
%					
0	22,40	28,68	22,33	9,33	10,35
10	24,11	30,52	23,28	10,59	11,64
20	22,67	28,95	22,66	10,99	11,45
30	21,49	27,68	21,77	9,86	10,00
40	22,92	29,25	22,66	10,21	10,41
50	22,63	28,62	22,56	9,48	10,04
60	21,74	27,47	22,07	6,82	7,66
70	20,61	25,75	20,46	7,98	8,60
80	22,59	27,05	22,23	14,59	13,64

FUENTE: INGS. Chica Martinez, Estrada Garcia

FASE 5: CONTAMINACION AMBAS UNIDADES

Seguidamente de evaluar el comportamiento de las unidades condensadora y evaporadora por separado, en esta fase evaluamos como actuó la contaminación de ambas unidades en las variables de operación del equipo, la tabla 5-9 muestra el resultado de esta alteración.

Tabla 5-9
VALORES SEGUN NIVEL DE CONTAMINACION EN AMBAS UNIDADES

Alteracion	Compresor					
Contaminacion	Corriente	P Alta	P Baja	T Carcasa	Linea Suc	Linea Desc
%	Amps	Psig	Psig	°C	°C	°C
0	5,25	282,15	116,38	58,82	19,20	40,64
10	5,19	286,18	115,77	60,84	20,52	40,95
20	5,22	286,34	112,66	60,37	19,48	40,04
30	5,41	304,52	111,07	61,54	19,38	41,10
40	5,69	339,70	109,29	65,55	20,05	44,71
50	5,58	336,80	109,37	64,02	19,77	44,22
60	5,84	356,91	108,11	68,86	19,62	47,04
70	2,31	212,78	162,16	27,93	23,19	25,91
80	1,79	163,71	167,00	15,93	14,79	15,50

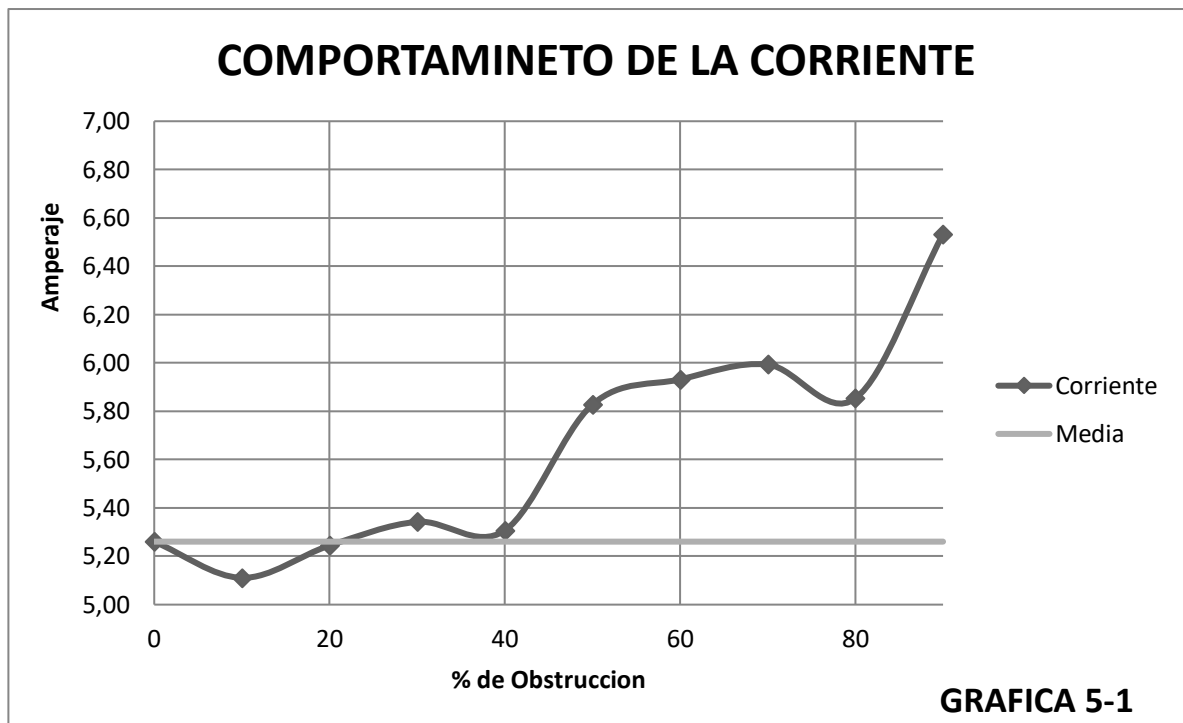
Alteracion	Condensador		Evaporador		
Contaminacion	T Succion	T Des Cond	T Succion	T1 Des Evap	T2 Des Evap
%	°C	°C	°C	°C	°C
0	22,40	28,68	22,33	9,33	10,35
10	22,35	28,93	21,85	10,69	11,40
20	21,47	27,40	21,13	9,96	10,55
30	22,21	28,73	21,66	9,24	9,42
40	22,93	29,37	21,76	9,60	10,11
50	22,70	28,38	21,70	9,86	10,46
60	23,15	29,58	21,82	8,75	9,36
70	22,95	23,53	21,91	21,29	21,64
80	14,64	14,00	20,50	20,00	20,00

FUENTE: INGS. Chica Martinez, Estrada Garcia

RESULTADOS DEL PROYECTO

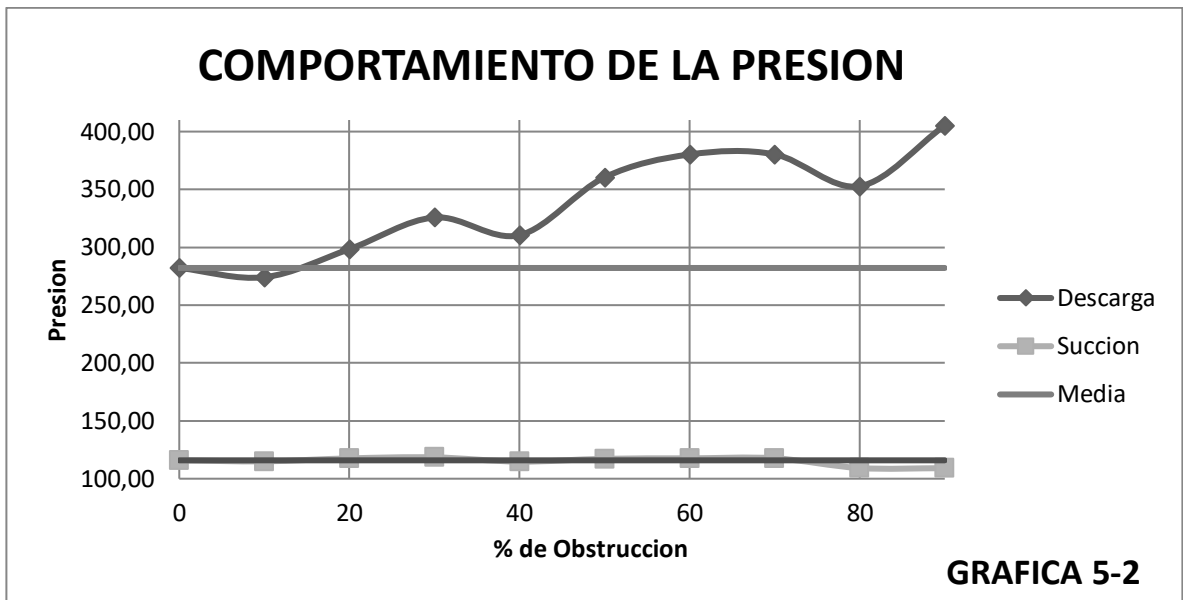
Se graficó cada nivel de contaminación obtenido según las fases anteriores y sus respectivas tablas de valores de nivel de contaminación.

Gráfica de la Fase 3: CONTAMINACION UNIDAD CONDENSADORA



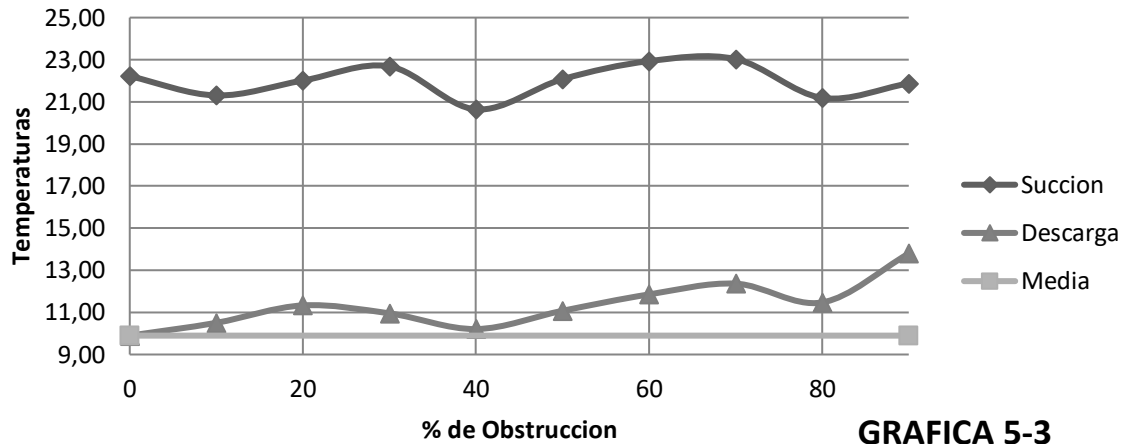
Se observar en la gráfica 5-1, para porcentajes de obstrucción en el condensador entre el 0% y 40% el valor de corriente en el compresor permanece igual o por debajo de su media, el cual corresponde al valor promedio base medido bajo condiciones normales de operación .

A partir del 40% de obstrucción la corriente eléctrica en el compresor incrementa a medida que el condensador se obstruye, alcanzando un valor máximo de 6.65 Amp cuando se alcanza el 90% de obstrucción, lo que equivale a un incremento del 26.8% en la corriente con respecto a la corriente registrada en condiciones normales, como consecuencia de este aumento de la corriente se presentará un mayor consumo de energía del compresor cuando este opere entre el 40% y 90% de obstrucción en el serpentín de condensación.



En la gráfica 5-2, para porcentajes de obstrucción en el condensador entre el 0% y 40% está igual o por debajo del promedio de presión de descarga; entre el 40% y el 90% se incrementa gradualmente y donde la presión de alta registrada fue de 412,96 Psig que representa un 38,5% de incremento respecto a la presión de alta promedio del sistema. Un aumento en la presión de condensación, descarga o alta da como resultado un incremento en la relación de compresión, produciendo una consecuente pérdida de eficiencia volumétrica.

COMPORTAMIENTO DE LAS TEMPERATURAS EN LA EVAPORADORA

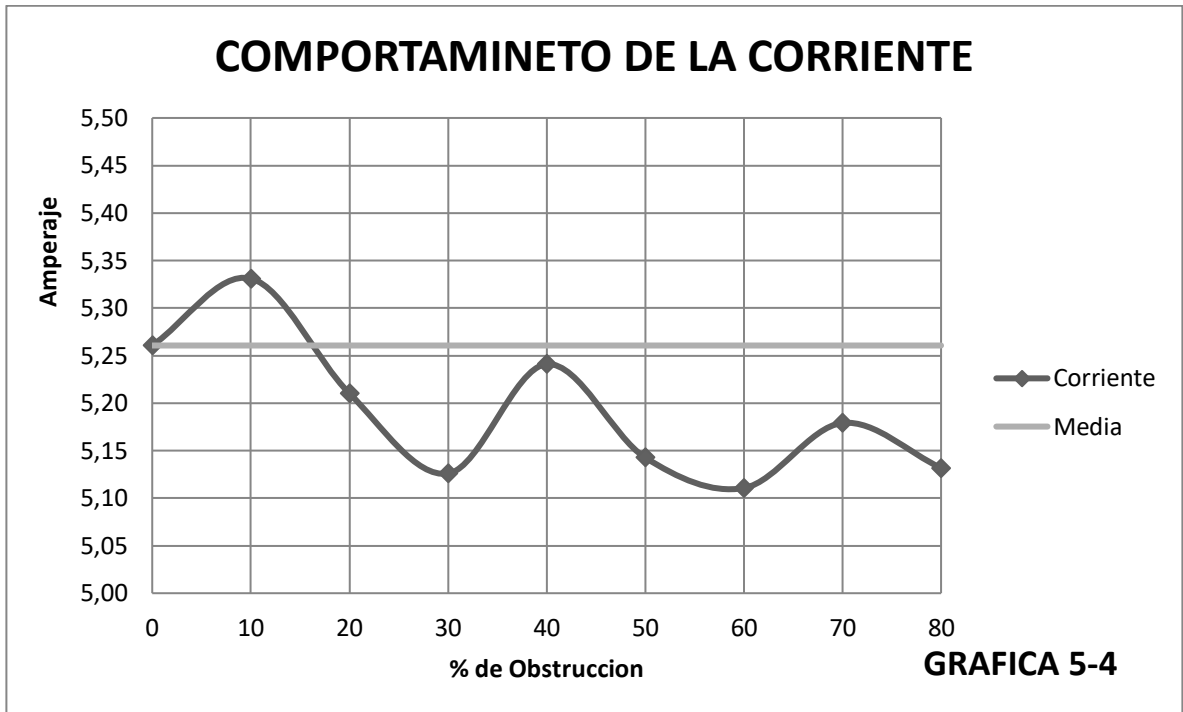


GRAFICA 5-3

Se observar en la gráfica 5-3, para porcentajes de obstrucción en el condensador entre el 0% y 40% la cantidad de calor removido permanece igual.

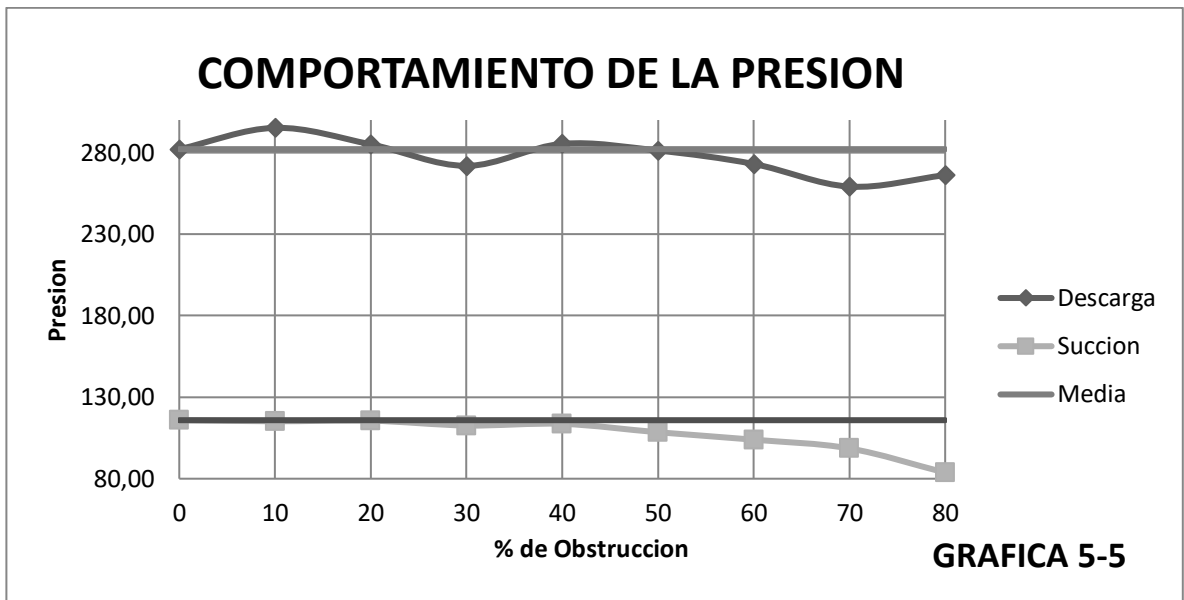
A partir del 40% de obstrucción la cantidad de calor removido disminuye a medida que el condensador se obstruye, alcanzando un diferencia minima de 8 °C cuando se alcanza el 90% de obstrucción, lo que equivale a un perdida de eficiencia del 50% con respecto a la registrada en condiciones normales.

Grafica de la Fase 4: CONTAMINACION UNIDAD EVAPORADORA



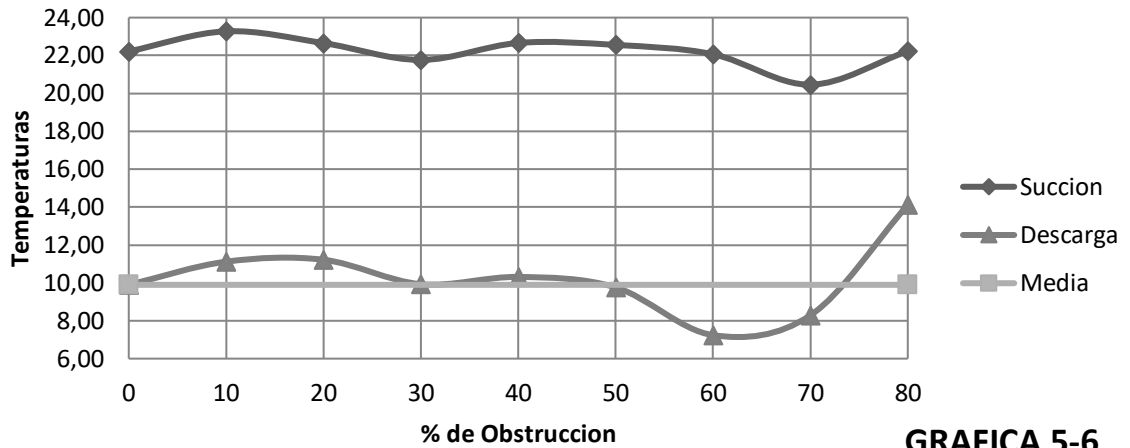
No se observan cambios representativos en la corriente del compresor debido a la obstrucción de la evaporadora.

Dichos cambios varían 0.15 Amp con respecto a la media.



No se observan cambios representativos en las presiones del compresor debido a la obstruccion de la evaporadora.

COMPORTAMIENTO DE LAS TEMPERATURAS EN LA EVAPORADORA

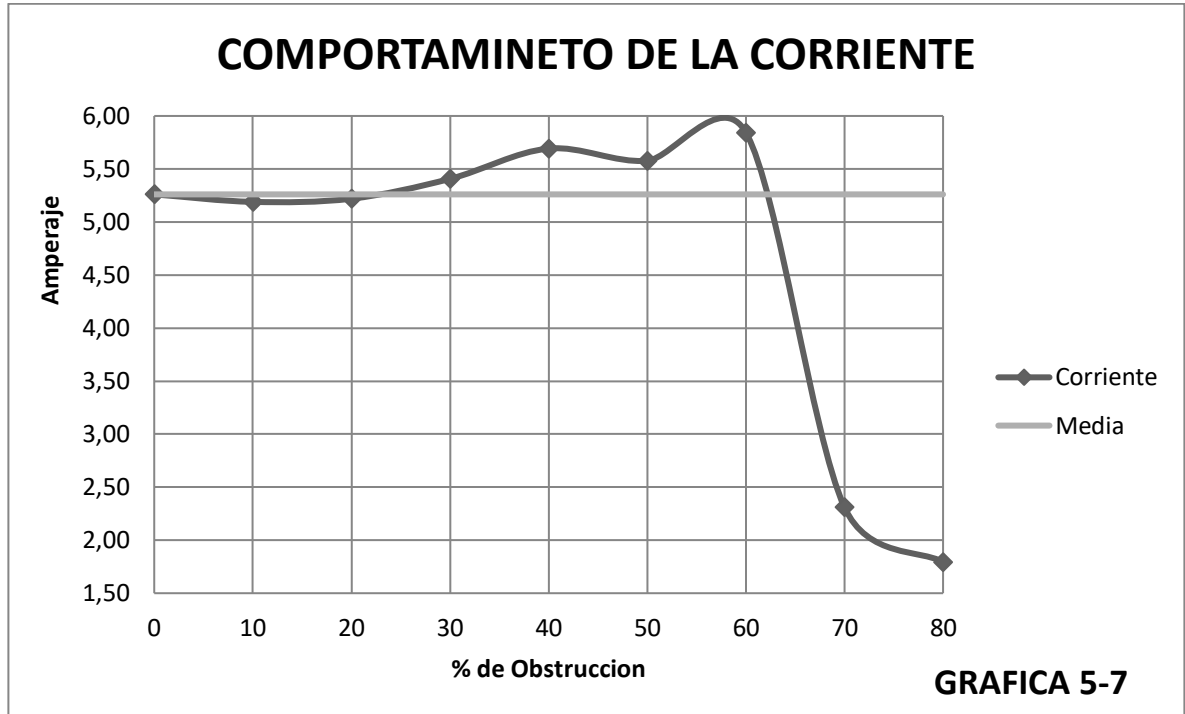


GRAFICA 5-6

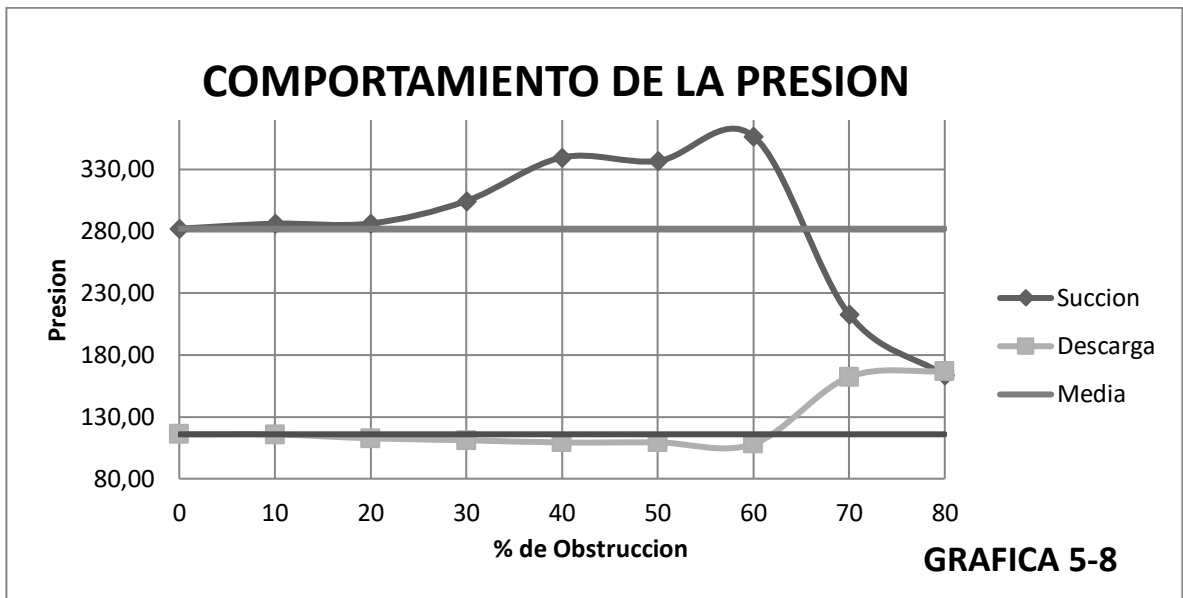
Se observar en la gráfica 5-6, para porcentajes de obstrucción en la evaporadora entre el 0% y 40% la cantidad de calor removido permanece igual o por debajo de su media, el cual corresponde al valor promedio base medido bajo condiciones normales de operación .

A partir del 50% de obstrucción la cantidad de calor removido aumente hasta el 60% incurriendo en congelamineto de la parate exterior del serpentín y dando como consecuencia la perdida de flujo de aire y dando como resultado en obstrucciones del 80% la perdida de remoncion de calor de la evaporadora.

Graficas de la FASE 5: CONTAMINACION AMBAS UNIDADES



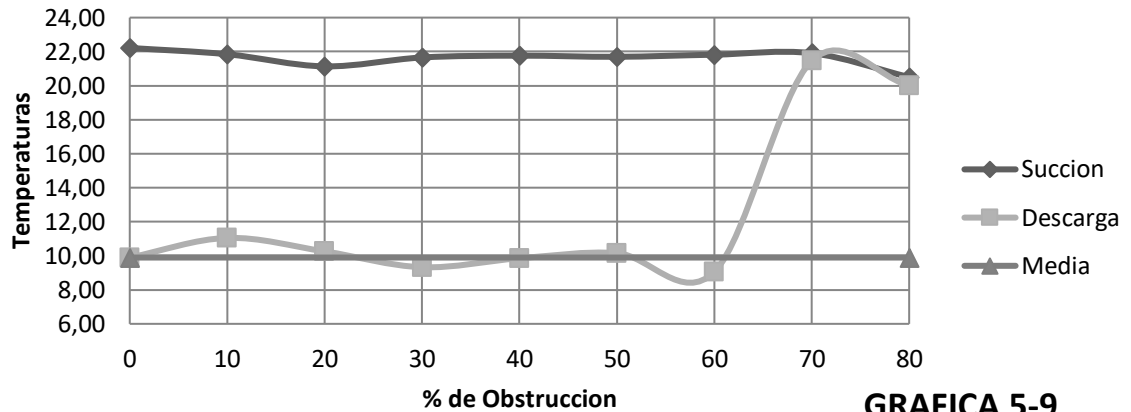
En la gráfica 5-7, se ven magnificados los comportamientos de la FASE 3 y la FASE 4 se denotan cambios como una constante a partir del 40% de Obstrucción; En el 60 % de obstrucción se marca una pérdida de amperaje debido a que el refrigerante no cambia de estado en la evaporadora y retorna liquido al compresor, este no tiene manera de comprimirlo y así incurriendo en daños al compresor.



En la gráfica 5-8, se ven magnificados los comportamientos de la FASE 3 y la FASE 4 se denotan cambios como una constante a partir del 40% de Obstrucción;

La tendencia de equiparar las presiones a medida que se obstruyen las unidades de debe al refrigerante no alcanza a cambiar de estado en la evaporadora y llega liquido al compresor el cual no tiene la capacidad de comprimirlo, dando como resultado el equilibrio de las presiones.

COMPORTAMIENTO DE LAS TEMPERATURAS EN LA EVAPORADORA



GRAFICA 5-9

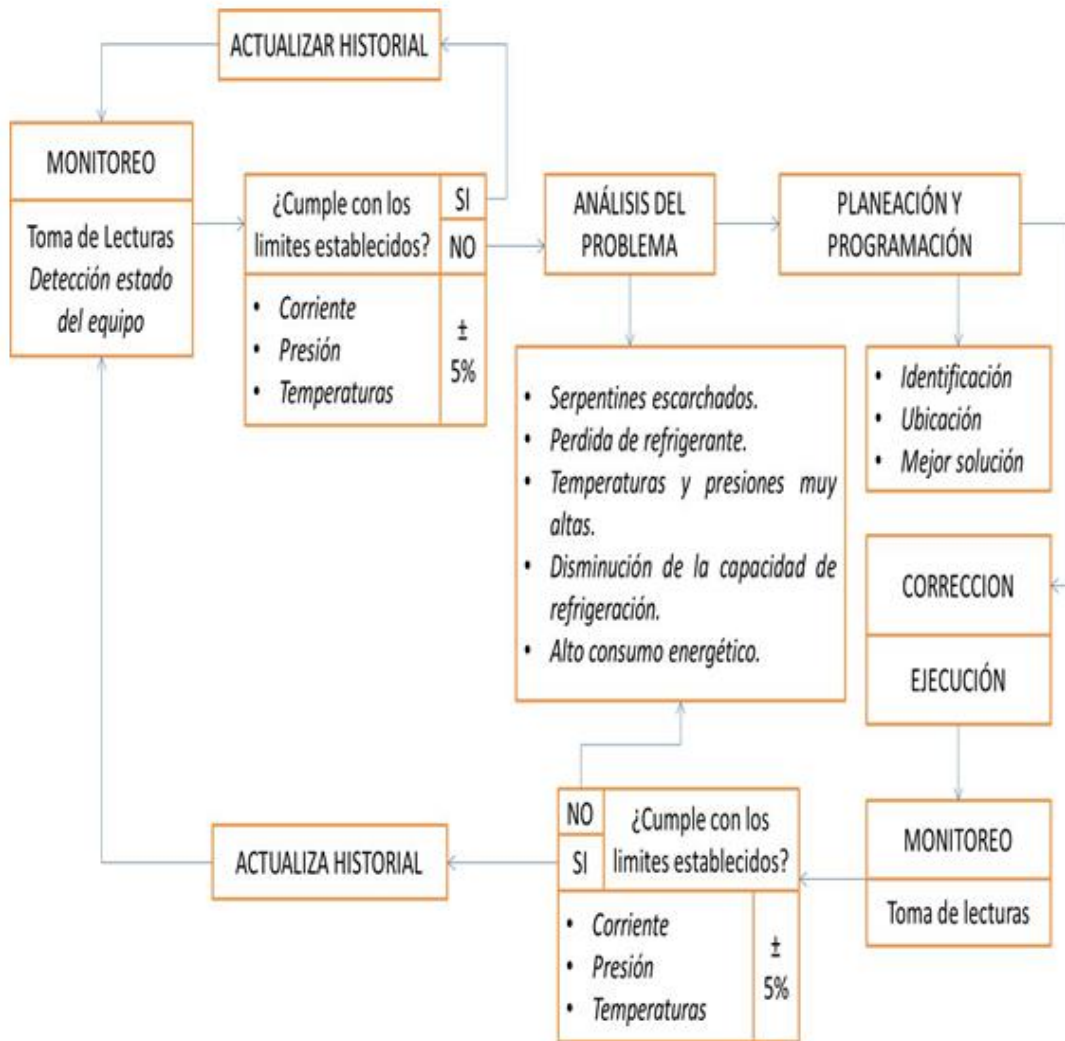
En la grafica 5-9, se ven magnificados los comportamientos de la FASE 3 y la FASE 4 se denotan cambios como una constante a partir del 40% de Obstrucción.

Se denota en gran medida la perdida de remoción de calor a partir del 60% de obstrucción llegando a la pérdida total de remoción de calor en el 70% de obstrucción.

5.1 PLAN DE MANTENIMIENTO

Se diseñó un algoritmo lógico (figura 5-10), el cual ilustra el plan de mantenimiento que proporciona el sistema de monitoreo implementado y su función.

Figura 5-10
ALGORITMO LOGICO



FUENTE: INGS. Chica Martinez, Estrada Garcia

5.2 EJECUCION DEL MANTENIMIENTO

ANTES DEL MANTENIMIENTO

- Apague el sistema antes de iniciar la limpieza. Para limpiar, pasar un paño suave y seco. No utilice blanqueadores o productos abrasivos.
- Se deberá desconectar el suministro eléctrico antes de iniciar la limpieza de la unidad interior.
- Se puede usar un paño humedecido con agua fría sobre la unidad interior si está muy sucia. Luego limpiarla pasando un paño seco.
- No utilice paños tratados químicamente o plumero para limpiar la unidad.
- No utilice bencina, solvente, polvo pulidor o productos similares para limpiar. Estos elementos pueden hacer que superficie de plástico se quiebre o se deforme.
- Nunca utilice agua caliente mayor a 40°C / 104°F para limpiar el panel frontal. Puede causar deformación o decoloración.

LIMPIEZA DE LA UNIDAD

- Limpie la unidad solamente con un paño seco y suave. Si la unidad está muy sucia, límpiela con un paño con jabón y agua tibia.

Limpieza del filtro de aire y del filtro purificador de aire

- Un filtro de aire obstruido reduce la capacidad de refrigeración de la unidad. Limpie el filtro una vez cada dos semanas.

Serpentines escarchados o congelados

- Deje descongelar completamente los serpentines y proceda a limpiarnos con un paño fino para evitar que partes de fibra queden sobre el serpentín o al interior del equipo, se recomienda después de una limpieza soplar el sistema con aire para liberar partículas que hayan quedado.

PERDIDAS DE REFRIGERANTE

Encienda el equipo, con los manómetros de presión y bomba de vacío evacue la cantidad de refrigerante contenido aun en el sistema, utilice el gas más adecuado para limpiar el interior de las tuberías y ubicar la fuga, si se requiere soldar el tubo tenga en cuenta que el gas utilizado para la limpieza no sea inflamable.

Es recomendable que al soldar la tubería averiada, esta contenga un gas como nitrógeno seco o dióxido de carbono, los cuales ayudaran a proteger y garantizar que la escoria de la soldadura no quede al interior del sistema y así evitar daños futuros.

PROCEDIMIENTO

1. Levante el panel frontal de la unidad interior hacia arriba hasta un ángulo en el cual quede fijo y sienta el ruido de clic. Para algunos modelos, utilice las barras de suspensión para apoyar el panel.
2. Sostenga el mango del filtro de aire y levántelo suavemente hacia arriba para quitarlo del soporte del filtro. Luego presiónelo hacia abajo.
3. Retire el FILTRO DE AIRE de la unidad interior.
Limpie el FILTRO DE AIRE una vez cada dos semanas.
Limpie el FILTRO DE AIRE con una aspiradora o agua, luego déjelo secar en un lugar fresco.
4. Retire el filtro purificador de aire del marco de soporte (la solución para desensamblar puede variar en cada unidad de acuerdo a los diferentes filtros. Observe los puntos 1 y 2).
Limpie el filtro purificador de aire por lo menos una vez al mes y reemplácelos cada 4-5 meses.
Limpie el filtro purificador de aire con una aspiradora, luego séquelo en un lugar fresco.

6. RECOMENDACIONES

Sobre este proyecto pueden desprenderse otros tantos tipos de análisis térmicos, consumo energético, costos, vida útil según el sistema de monitoreo entre otros, los cuales pueden ayudar a complementar y mejorar el diseño de los sistemas de aire acondicionado, partiendo desde la parte térmica, materiales, fluidos, hasta la parte eléctrica y electrónica que muy posiblemente brindaran las mejores características para la solución rápida de fallas.

CONCLUSIONES

- Este sistema nos permitió generar una alarma alrededor del 40% de contaminación la cual está prediciendo que el sistema requiere de una intervención en la unidad condensadora muy prontamente.
- Por medio del sistema implementado pudimos determinar el momento justo para realizar el mantenimiento preventivo del sistema de aire acondicionado, que aproximadamente esta entre el 40% y el 50% de contaminación del sistema.
- Se puede identificar que parte del sistema es la que requiere el mantenimiento y así evitar un desglose del sistema completo, pues de esta manera evitamos pérdidas de tiempo de operación y ahorramos costos de mantenimiento.
- Por medio de esta adquisición de datos podemos saber la cantidad de energía eléctrica que consume el equipo y el costo que esto genera.
- Siendo este sistema muy completo para el análisis, identificación y localización de las fallas en los sistemas de aire acondicionado, vemos como es de factible para un operario contar con este tipo de herramientas, pues le ayudara tanto a descifrar que causa, tipo y en donde se ubica el daño, así como determinar el mejor método de solución para el problema.

BIBLIOGRAFIA

- Au-Yong, C. P., Ali, A. S., & Ahmad, F. (2014). Improving occupants' satisfaction with effective maintenance management of HVAC system in office buildings. *Automation in Construction*, 43, 31–37. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.013>
- Betts, R. (2013). HVAC: Maintaining HVAC equipment with air intake filters. *Filtration + Separation*, 50(4), 32–35. [http://doi.org/10.1016/S0015-1882\(13\)70167-8](http://doi.org/10.1016/S0015-1882(13)70167-8)
- Buqué, F. (2006). *Manual Practico de Refrigeracion y Aire Acondicionado Tomo II* (MARCOMBO,). Colombia: Alfaomega.
- Koenka, I. J., Sáiz, J., & Hauser, P. C. (2014). Instrumentino: An open-source modular Python framework for controlling Arduino based experimental instruments. *Computer Physics Communications*, 185(10), 2724–2729. <http://doi.org/10.1016/j.cpc.2014.06.007>
- Kwak, R.-Y., Takakusagi, A., Sohn, J.-Y., Fujii, S., & Park, B.-Y. (2004). Development of an optimal preventive maintenance model based on the reliability assessment for air-conditioning facilities in office buildings. *Building and Environment*, 39(10), 1141–1156. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.01.029>
- Mulumba, T., Afshari, A., Yan, K., Shen, W., & Norford, L. K. (2015). Robust model-based fault diagnosis for air handling units. *Energy and Buildings*, 86, 698–707. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.069>