

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO Y LUMINARIAS DEL EDIFICIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UCV MEDIANTE EL USO DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Marval S. Salvador M.
Para optar por el Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO Y LUMINARIAS DEL EDIFICIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UCV MEDIANTE EL USO DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

Tutor: Prof. Pedro Lecue

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Marval S. Salvador M.
Para optar por el Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2008

Caracas, Noviembre, 2007

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Salvador Marval Sánchez, titulado:

Automatización de los Sistemas de Aire Acondicionado y Luminarias del Edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV Mediante el Uso de un Controlador Lógico Programable.

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor.

Prof. José Barriola
Jurado

Prof. Miguel Padilla
Jurado

Prof. Pedro Lecue
Tutor Académico

DEDICATORIA

Para mis padres Salvador y Gladys, por su comprensión y ayuda en todo momento. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

AGRADECIMIENTOS

A Los Profesores Pedro Lecue y Hans García por el asesoramiento para el desarrollo de ésta y proporcionarme toda la ayuda y confianza para el cumplimiento de lo acometido.

Y a todos aquellos que de una u otra manera me brindaron su apoyo y ayuda para la culminación de la misma.

Marval S. Salvador M.

**AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AIRE
ACONDICIONADO Y LUMINARIAS DEL EDIFICIO DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UCV
MEDIANTE EL USO DE UN CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMABLE.**

Tutor: Prof. Pedro Lecue. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica. Año 2007, 110 p

Palabras claves: Controlador Lógico Programable, Automatización, Aire Acondicionado, Inmótica.

Resumen. El presente trabajo tuvo como objetivo la implementación de un Controlador Lógico Programable Telemecanique modelo Twido, para la automatización de los sistemas de aire acondicionado y luminarias del edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela, con la finalidad de mejorar las condiciones de confort del edificio para los usuarios controlando la temperatura de los espacios y reducir el consumo de energía eléctrica de éste mediante la disminución del tiempo de funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado de mayor capacidad del edificio. El edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica es una estructura de dos plantas donde la climatización del edificio se realiza mediante varias unidades de expansión directa y la iluminación por medio de lámparas de tubos fluorescentes. El trabajo comprendió la selección de los actuadores y sensores a utilizar para el control de los sistemas de aire acondicionado e iluminación, el diseño de la arquitectura de cableado y conexión del sistema de control y finalmente la instalación del sistema de control en el edificio.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo I: El problema.....	6
Planteamiento del Problema.....	7
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
Justificación.....	10
Alcances.....	11
Capítulo II: Marco Teórico.....	12
Presentación de la Empresa.....	13
Aire acondicionado.....	14
Fundamentos Básicos.....	14
Clasificación de los Sistemas de Aire Acondicionado de Expansión Directa.....	22
Fundamentos de Iluminación.....	24
Controlador Lógico Programable (PLC)	
Antecedentes e Historia.....	27
Estructura de los PLC	
Sección de entradas.....	28
Unidad Procesadora.....	28

Sección de Salidas.....	29
Módulos de Comunicación.....	29
Ciclo de Funcionamiento.....	30
PLC Twido.....	32
Contactador y Relé.....	32
Termistor.....	37
Redes Ethernet.....	38
Protocolo de Comunicación ModBus.....	40
Condiciones de Confort según ASHRAE.....	41
Capítulo III: Marco Metodológico.....	43
Etapa Documental.....	44
Etapa de Diseño	45
Etapa de Campo.....	45
Capítulo IV: La propuesta.....	46
Inventario de Equipos.....	47
Descripción del Sistema de Control.....	54
Control de la Iluminación.....	54
Control del Aire Acondicionado.....	56
Modo de Operación.....	58
Hardware Utilizado.....	61

Consideraciones sobre la medición del consumo.....	68
Comentarios Finales.....	72
Recomendaciones.....	73
Bibliografía.....	74
Apéndices.....	76

LISTA DE CUADROS Y GRÁFICOS:

Gráficos:

Figura 1: Componentes Básicos de un Sistema de Aire Acondicionado de Expansión directa

Figura 2: Esquema de Funcionamiento de un Compresor

Figura 3: Unidad Condensadora Típica.

Figura 4: Válvula de Expansión

Figura 5: Esquema de Evaporador típico

Figura 6: Conjunto Válvulas Solenoide y Termostática

Figura 7: Filtro Deshidratador

Figura 8: Filtro de Línea de Succión

Figura 9: Silenciador

Figura 10: Unidad Compacta de Techo

Figura 11: Unidad Fraccionada.

Figura 12: Unidad de Ventana

Figura 13: Esquema de Funcionamiento de una Lámpara Fluorescente

Figura 14: PLC Twido

Figura 15: Esquema de Funcionamiento de un Relé

Figura 16: Esquema de Funcionamiento de un Contactor.

Figura 17: Termistor NTC utilizado en el Sistema

Figura 18: Unidad Compacta de Techo Aula 202

Figura 19: Unidad Compacta de Techo Aula 203

Figura 20: Unidad Fraccionada Aula 204

Figura 21: Unidad Compacta de Techo Aula 205

Figura 22: Unidad Fraccionada Aula 206

Figura 23: Unidad Compacta de Techo Dirección

Figura 24: Unidad Fraccionada Aula 301 y Oficina #6

Figura 25: Unidad Compacta de Techo Oficinas Planta Alta y Departamentos

Figura 26: Unidad Fraccionada Oficinas PB # 7, #8, # 9, #10 y #18

Figura 27: Unidad fraccionada Biblioteca

Figura 28: Unidad Fraccionada Sala Estudios

Figura 29: Interruptor unidad 204

Figura 30: Línea de Poder Unidades de la Azotea

Figura 31: Línea de Poder Unidades Azotea 2

Figura 32: Cableado entre galpones de Mantenimiento y Escuela de Ingeniería Mecánica UCV

Figura# 33: Cableado entre galpones de Laboratorios y Edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica UCV

Cuadros:

Tabla 1: Distribución unidades de Aire Acondicionado de la Planta Superior

Tabla 2: Distribución unidades de Aire Acondicionado de la Planta Baja

Tabla 3: Características de las Unidades de Aire Acondicionado tipo Roof Top

Tabla 4: Características de las Unidades de Aire Acondicionado tipo Split

Tabla 5: Características de los Sistemas de Iluminación de las Áreas Comunes

Tabla 6: Sensores y Actuadores Instalados en la Planta Superior

Tabla 7: Sensores y Actuadores Instalados en Planta Baja

Tabla 8: Sensores y Actuadores Instalados en el sistema de Iluminación de Áreas Comunes

Tabla 9: Características de los Sensores y Actuadores utilizados

Tabla 10: Características de Módulos de Expansión del PLC

Tabla 11: Direccionamiento de las variables

Tabla 12: Horarios de Actividad de Espacios de la Escuela de Ingeniería Mecánica

Tabla 13: Registros de Humedad Relativa y Temperatura Exterior mensuales del Área de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela Cortesía del Servicio de Meteorología Nacional.

Tabla 14: Costos Asociados a la Instalación del Sistema de Automatización

Abreviaturas:

CC, DC: Corriente Directa

AC, CA: Corriente Alterna

PLC: Controlador Lógico Programable

V: Voltios

Amp: Amperios

m: metros

U.C.V: Universidad Central de Venezuela

ASHRAE: (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) Sociedad Americana Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado

s: Segundos

°C: Grados Centígrados

Hp: Caballos de Fuerza

Btu: British Thermal Unit

TON: Tonelada de Refrigeración

%IW: Entrada Analógica

%Q:Salida Digital

%I: Entrada Digital.

INTRODUCCIÓN

La Inmótica, término que se utiliza para referirse a la práctica de automatizar un edificio, es una práctica relativamente nueva que en los últimos años ha ganado gran popularidad a nivel mundial al momento de diseñar y construir edificios o viviendas puesto que presenta grandes beneficios en áreas como ahorro de energía, eficiencia en los sistemas, disminución de personal en las operaciones, confort para los usuarios, protección de la propiedad, seguridad y gestión a distancia de los sistemas del recinto.

Existen actualmente varios tipos de arquitecturas y sistemas para automatizar edificios, como la tecnología de corrientes portadoras X-10, ZIBEE (una forma de internet inalámbrico) y LONWORKS entre las más difundidas. La tendencia actual en el desarrollo de soluciones para la automatización de unidades de aire acondicionado y luminarias de edificios consiste en utilizar controladores independientes para cada unidad de aire acondicionado interconectados a una red común, de esta manera se consiguen importantes beneficios a nivel de confiabilidad del sistema y simplicidad de instalación ya que al tener un controlador por unidad si ocurre una falla en un controlador no afecta a los demás controladores de la red pues cada unidad ejecuta su propia rutina de control. Los sistemas descentralizados utilizan generalmente un par de cables para la interconexión de los controladores unitarios a la red por lo que se reduce en gran medida la dificultad y tiempo de instalación del sistema de control. Actualmente entre los protocolos más utilizados para redes de automatización de aires acondicionados y luminarias son los protocolos “LON”

desarrollado por la compañía Echelon (cada fabricante de controladores desarrolla su propia variante del protocolo por ejemplo LONWORKS y LONMARK) y el protocolo Modbus ya que es uno de los más básicos y difundidos entre los fabricantes de controladores, lo que permite una integración sencilla entre controladores de diferentes fabricantes.

Otra de las técnicas utilizadas actualmente consiste en los sistemas mixtos, en estos sistemas se utilizan controladores programables unitarios pero el lazo de comunicación de estos se conectan a un controlador principal o Unidad Controladora de Edificio (Building Control Unit o BCU) que cumple la función de interface entre la red de controladores unitarios y la red de área local del edificio además de ser la encargada de generar las tendencias, reportes y alarmas que se desee. En edificios de gran tamaño, en los que existen gran cantidad unidades de aire acondicionado estas arquitecturas dan muy buenos resultados ya que se pueden utilizar varias Unidades Controladoras de Edificios interconectadas entre sí a la Red de Area Local del edificio y estas a su vez pueden contener varios controladores unitarios. Un ejemplo de estas aplicaciones son los Centros Comerciales Sambil Maracaibo, Sambil Barquisimeto cada uno con tres BCU y el edificio de Casa de La Moneda en Maracay.

El uso de un Controlador Lógico Programable para automatizar los sistemas de aire acondicionado y luminarias de la Escuela de Ingeniería Mecánica, podría constituir una opción de bajo costo, ampliamente adaptable según los requerimientos

de los usuarios y suficientemente configurable como para adoptar reestructuraciones futuras.

Dada la flexibilidad de los controladores lógicos programables, este trabajo podría servir de base para que los PLC sean implementados en otros edificios de la Universidad Central de Venezuela, logrando los mismos beneficios o incluso servir a futuro como una alternativa de negocios al implementarlos en la automatización de diversas estructuras en Venezuela puesto que en nuestro país la Domótica y la Inmótica son tecnologías poco difundidas pero muy útiles y potencialmente explotables.

Actualmente en Venezuela existen varios edificios en los que los sistemas de aire acondicionado e iluminación están automatizados como es el caso del edificio “Ciudad Banesco” en la urbanización Bello Monte de la ciudad de Caracas, el edificio sede de Laboratorios Pfizer de Venezuela y el edificio Cede del SENIAT ubicados en la avenida Principal de Los Ruices en Caracas. Estos edificios utilizan una arquitectura descentralizada para el control de la sala de máquinas y unidades de aire acondicionado e integraciones con sistemas de diferentes fabricantes para el control de la iluminación y sistemas contra incendios.

Varios trabajos de grado presentados en universidades del país tratan el tema de la automatización de edificios; En el año 2000 fue presentado ante la Universidad Central de Venezuela un trabajo de grado que contemplaba la automatización del sistema de aire acondicionado y luminarias del edificio administrativo de una

empresa de cosméticos (Elkin Carbonell 2000) ,luego en el año 2001 ante la Universidad Metropolitana fue presentado un trabajo de grado que contemplaba la elaboración de un sistema de control de luminarias en edificios (Alejandro Goncalves Delgado; Jorge Rodríguez Díez ,2001) ,en el año 2002 fue presentado ante la Universidad Simón Bolívar un trabajo de grado que contemplaba la automatización de el sistema de aire acondicionado del metrópolis Shopping Center (Macías Martínez, Javier M 2002). Por último el trabajo de grado más reciente que planteo la utilización de un PLC para la automatización de un sistema de aire acondicionado fue presentado ante la Universidad Central de Venezuela en Junio del año 2007 y contemplaba la automatización del sistema de aire acondicionado de agua helada del edificio donde funciona la empresa Bingo Caribe en Caracas.(Jhonatan Becerra,2007)

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Planteamiento del problema:

El edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela es un edificio de aproximadamente 1900 metros cuadrados que consta de 2 plantas y una azotea. Dentro de esta edificación existen diferentes espacios que son utilizados como oficinas, aulas de clases, una biblioteca y una sala de estudios.

En todos los espacios del edificio la climatización e iluminación artificial es vital para su funcionamiento, puesto que la mayoría de éstos espacios carecen de ventilación e iluminación natural capaces de satisfacer las necesidades de confort de los usuarios; para solventar este problema todos los espacios tienen instalados sistemas de aire acondicionado e iluminación artificial.

El funcionamiento de los equipos de aire acondicionado e iluminación, que tan importantes son para la operación del edificio, genera cargas eléctricas inductivas y resistivas importantes que se traducen en un consumo de energía eléctrica considerable. Entre los sistemas de aire acondicionado existen diversos equipos como unidades de ventana, unidades fraccionadas y unidades de techo compactas que actualmente carecen de un sistema de temperatura que controle el encendido y apagado de las unidades según la carga térmica presente y generalmente permanecen encendidos en horas fuera del horario de actividad del edificio, enfriando los espacios cuando no existen personas en ellos ya sea por descuido de los propios usuarios o por fallas del sistema de control actual de las máquinas. De manera similar, las

lámparas de espacios de uso común como la biblioteca y los pasillos permanecen encendidas en horas fuera del horario de actividad de la escuela perjudicando el consumo de energía eléctrica del edificio.

Es necesario entonces buscar alternativas para mejorar el confort de los usuarios y a la vez reducir el tiempo de funcionamiento diario de los equipos, para alargar la vida útil de los equipos y contribuir al ahorro de energía eléctrica.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Automatizar los sistemas de aire acondicionado y luminarias del edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV, mediante el uso de un Controlador Lógico Programable.

Objetivos Específicos:

- Familiarizarse con el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado y luminarias del edificio.
- Investigar acerca de los distintos dispositivos y técnicas existentes para la conexión de los sistemas de aire acondicionado y luminarias a un PLC, así como sobre los sensores y accesorios necesarios para el control de estos sistemas.
- Seleccionar los sensores y actuadores que se utilizarán en combinación con el PLC.
- Conocer las condiciones ideales de confort para las oficinas y salones de clases del edificio.
- Familiarizarse con el ciclo de actividad diaria del edificio.

- Diseñar el sistema de control de los sistemas de aire acondicionado e iluminación del edificio.
- Elaboración del programa que utilizará el PLC para controlar los sistemas de aire acondicionado y luminarias del edificio.
- Instalar y probar el sistema de control diseñado en el edificio.
- Estudiar el ahorro energía eléctrica logrado luego de la implementación del sistema en el edificio mediante la comparación de mediciones de consumo en el medidor del edificio y la comparación de las facturas consumo de la compañía proveedora del servicio eléctrico.

JUSTIFICACIÓN

En el caso del Edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al automatizar los sistemas de aire acondicionado y luminarias se podrían mejorar las condiciones confort de los estudiantes y personal administrativo, alargar la vida de los componentes de dichos sistemas, simplificar la operación de mantenimiento y lograr ahorros de energía. Dada la adaptabilidad de los PLC, también serían útiles para futuros proyectos en los se decidiera automatizar otro tipo de operaciones, tales como el control de acceso a los estacionamientos de la universidad o los sistemas de seguridad.

Esta misma iniciativa de automatizar los sistemas de aire acondicionado y luminarias del edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la U.C.V se podría extender a otros edificios de la Universidad Central de Venezuela logrando los mismos beneficios para toda la comunidad universitaria e incluso podría servir de alternativa de negocios para las personas que se capaciten en esta área ya que la Inmótica como ya se ha mencionado es una práctica relativamente nueva en nuestro país que ha venido ganando popularidad en los últimos años.

ALCANCES

- Establecer que variables de los sistemas de aire acondicionado y luminarias serán controlados.
- Seleccionar los actuadores y sensores que permitirán la interacción del PLC con los sistemas del edificio.
- Elaborar el programa de control que utilizará el PLC para supervisar los sistemas del edificio.
- Elaborar el diagrama de conexión entre el PLC, los actuadores, los sensores y los sistemas del edificio.
- Instalar el sistema de control diseñado en el edificio y ponerlo en operación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

Presentación de las Empresas e Instituciones:

Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela:

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, es el principal centro de formación de profesionales de la Ingeniería y uno de los impulsores del conocimiento científico-tecnológico del país.

El Departamento de Automática de la Escuela de Ingeniería Mecánica está orientado a transmitir al estudiante conocimientos en el área de automatización industrial, impartiendo las Asignaturas: Automatización Industrial, Automatización de Procesos, Mecatrónica y Controladores Lógicos Programables, principalmente.

Telemecanique:

Telemecanique es una empresa perteneciente al grupo Schneider Electric dedicada a la producción y comercialización de equipos para automatización, entre los productos que ofrecen se encuentran diferentes tipos de Controladores Lógicos Programables, Contactores, Relés, Variadores de Frecuencia, Sensores y Software para Automatización de Procesos; entre éstos se encuentra el PLC Twido que se utilizará en este proyecto.

Fundamentos Básicos sobre los sistemas de Aire

Acondicionado de Expansión directa:

Los sistemas de aire de expansión directa utilizan los principios de un Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor para extraer el calor presente en el aire del espacio que se quiere enfriar y transferirlo al aire del medio ambiente.

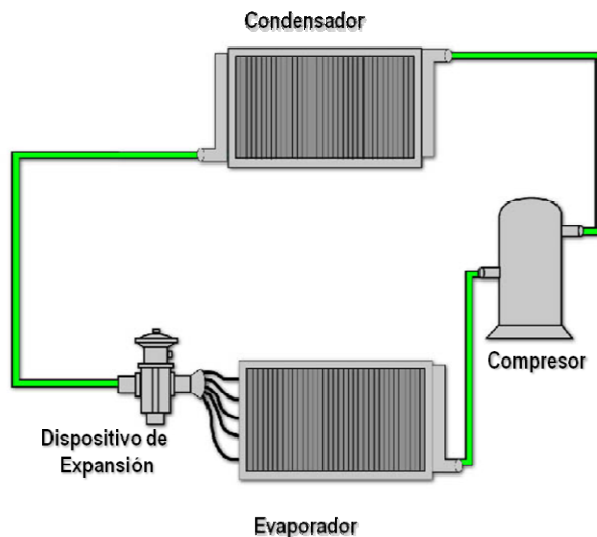


Figura 1. Componentes Básicos de un Sistema de Aire Acondicionado de Expansión directa

En una máquina de aire acondicionado de expansión directa existe un circuito por el que circula la sustancia refrigerante, este circuito consta de cuatro componentes principales que componen el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, a saber: compresor, condensador, evaporador y dispositivo de expansión.

El propósito del **Compresor** en un sistema de refrigeración, es el de elevar la presión del vapor refrigerante que acaba de salir del evaporador, de presión de

evaporación a presión de condensación, enviando así el vapor refrigerante hacia el condensador a una presión y temperatura a las cuales el proceso de condensación puede lograrse rápidamente a la temperatura del aire usado para condensación.

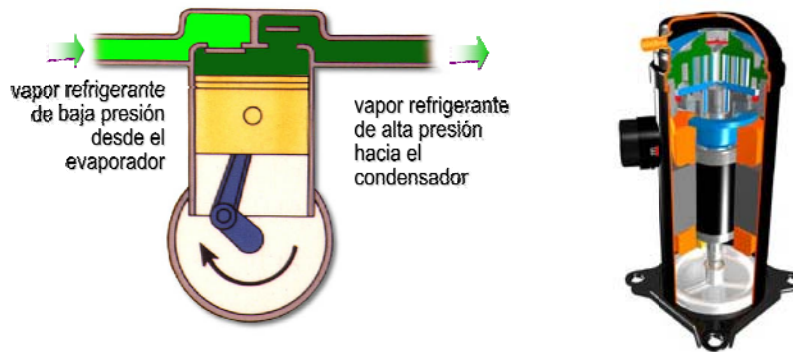


Figura 2. Esquema de Funcionamiento de un Compresor

Este vapor refrigerante caliente de alta presión, se descarga ahora al **Condensador** de la máquina, en este caso enfriado por aire, utilizando ventiladores para inducir el paso de aire exterior sobre una superficie de transferencia de calor de tubo aleteado. La diferencia de temperatura entre el vapor refrigerante caliente que está fluyendo a través de los tubos y el aire exterior relativamente más frío, induce la transferencia de calor. La reducción resultante en el contenido de calor del vapor de refrigerante provoca la condensación de éste último pasando al estado líquido. Dentro de las secciones finales de tubería del condensador (el **subenfriador**), el líquido refrigerante sigue siendo enfriado por debajo de la temperatura a la cual fue condensado.

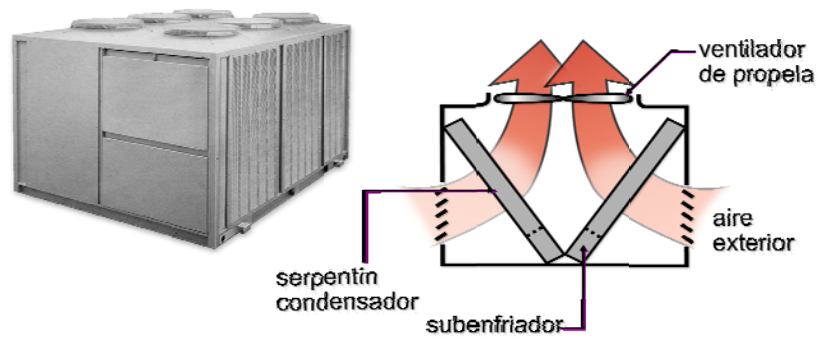


Figura 3. Unidad Condensadora Típica.

Al salir del condensador, un **Dispositivo de Expansión** es usado para producir una caída de presión que disminuye la presión, a esta presión más baja, la temperatura del refrigerante es mayor a su punto de ebullición. Esto provoca la ebullición de una pequeña porción del líquido, o bien su evaporación precipitada. Debido a que se requiere de calor para hacer hervir esta pequeña porción de refrigerante, el refrigerante en ebullición absorbe el calor del refrigerante líquido remanente, enfriándolo a la temperatura deseada del evaporador. Esta diferencia de presión permite que la temperatura del evaporador sea lo suficientemente baja, como para absorber calor del aire a ser enfriado, mientras, también permite que el refrigerante guarde una temperatura suficientemente alta en el condensador, como para ser rechazada al aire exterior o el agua a temperaturas normalmente disponibles. Existen varios tipos de dispositivos de expansión, incluyendo válvulas de expansión termostáticas o electrónicas, tubos capilares, y orificios.

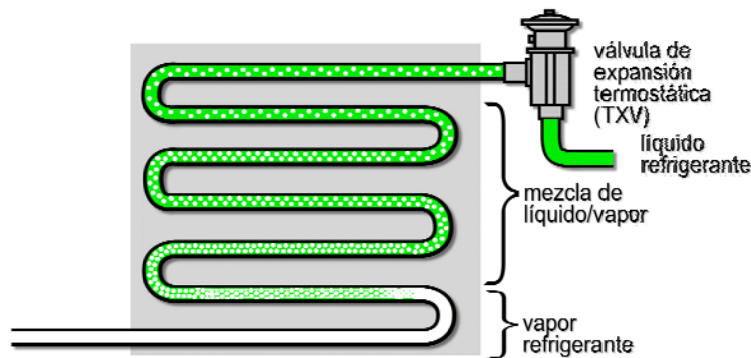


Figura 4. Válvula de Expansión

Finalmente, en la entrada al **Evaporador**, el refrigerante existe como una mezcla fría de líquido y vapor de baja presión, el evaporador de tubería aleteada contiene hileras de tubos que pasan a través de hojas de aletas formadas; Por estos tubos fluye líquido el refrigerante frío, así enfría el tubo y las superficies de las aletas. Conforme pasa el aire proveniente del espacio a ser acondicionado por el serpentín y entra en contacto con las superficies frías de las aletas, el calor es transferido del aire al refrigerante. Esta transferencia de calor provoca la ebullición del refrigerante que abandona el evaporador, vale destacar en forma de vapor hacia el compresor completando de esta manera el ciclo. Las aletas del serpentín están formadas para producir turbulencia a medida que pasa el aire al través de las mismas. Esta turbulencia acentúa la transferencia de calor, previniendo la estratificación dentro de la corriente de aire de salida del serpentín.

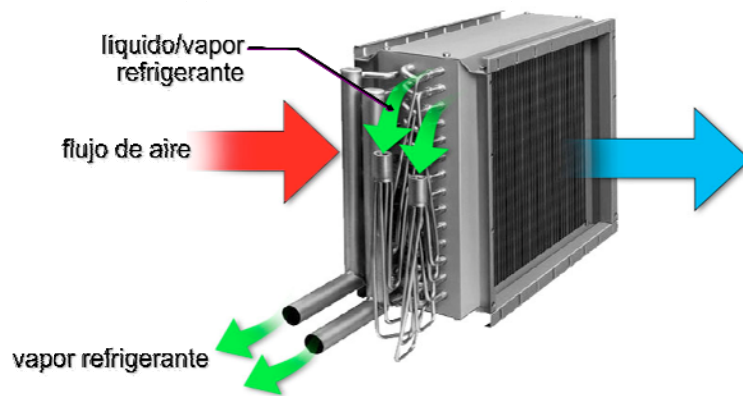


Figura 5. Esquema de Evaporador típico.

Algunas unidades, dependiendo de las cargas térmicas para las que estén diseñadas pueden disponer de varios circuitos de refrigeración independientes con varios compresores de una o más etapas y varios ventiladores que entran en funcionamiento según la demanda que se tenga en el espacio a acondicionar.

Además de los elementos mencionados existen elementos secundarios comunes dentro de un sistema de aire acondicionado de expansión directa como la válvula solenoide, filtro deshidratador, filtro de la línea de succión y el silenciador de gas caliente.

La **válvula solenoide** se utiliza para detener el flujo de refrigerante dentro del sistema. Estas válvulas se operan magnéticamente; un roscado eléctrico controla la apertura y el cierre de la válvula. La característica de esta válvula es del tipo normalmente cerrada, con el fin de que se encuentre cerrada al ser desenergizada.

Un uso común de la válvula solenoide es el control del flujo del líquido refrigerante hacia múltiples secciones del evaporador. En esta aplicación, se instala una válvula en la línea de líquido, corriente arriba de la válvula de expansión para cada sección del serpentín evaporador controlado individualmente. Se puede usar una válvula solenoide en cargas menores para cerrar el flujo de líquido refrigerante hacia la sección superior del serpentín. Una porción del aire pasa al través de la sección inferior activa, enfriándose, mientras que el resto del aire pasa por la parte superior inactiva, permanenciando en estado no-acondicionado. Las dos corrientes de aire se mezclan corriente abajo del serpentín. En cargas mayores, ambas secciones del serpentín están activadas.

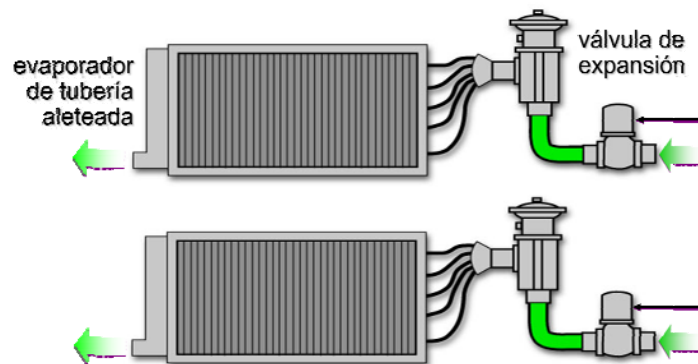


Figura 6. Conjunto Válvulas Solenoide y Termostática

El siguiente accesorio a ser visto, es el **Filtro Deshidratador** de línea de líquido, instalado corriente arriba de la válvula solenoide y la válvula de expansión. Este previene la introducción de humedad (agua) y materia extraña a la válvula de expansión y a la válvula solenoide, durante el proceso de instalación.

La humedad y la materia extraña pueden causar problemas a cualquier sistema de refrigeración. Cuando se mezcla agua con refrigerante y aceite, y se agrega calor por el compresor, se forman ácidos que pueden provocar daños a las válvulas o al compresor. Igualmente, materiales extraños como partículas de cobre o de latón pueden actuar como catalizadores en reacciones químicas que pueden resultar en la formación de compuestos ácidos. Estos ácidos pueden corroer los componentes del sistema y provocar el golpeteo intermitente del aceite.



Figura 7. Filtro Deshidratador

De manera similar al filtro deshidratador en la línea de líquido, el **Filtro en la Línea de Succión** realiza la tarea de remover material extraño del sistema de refrigeración. Éste se instala en la línea de succión, justo corriente arriba del compresor. El filtro en la línea de succión contiene un medio de filtrado que remueve rebaba de cobre, fundente, tierra y otra materia extraña que hubiera podido introducirse durante el proceso de instalación o como resultado de una falla del compresor. Este protege las partes del compresor de la abrasión que pudiera resultar

de la penetración de estos materiales en el compresor. La tierra puede obstruir los conductos de aceite, robándole de esta manera lubricación a los rodamientos del compresor.

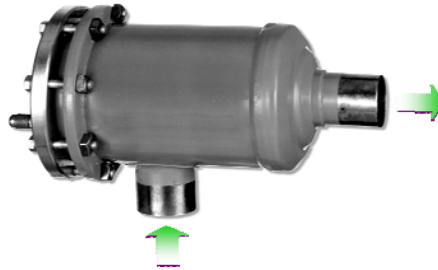


Figura 8. Filtro de Línea de Succión

El Silenciador para gas caliente tiene por objeto suavizar las pulsaciones asociadas con el gas o vapor refrigerante de descarga del compresor recíprocante, disminuyendo el ruido y la vibración.

La presión del gas o vapor refrigerante que abandona el compresor recíprocante fluctúa o pulsa rápidamente debido a la manera en que es comprimido por los pistones recíprocantes. Los picos de presión ocasionan que parte del gas pase del tubo perforado hacia adentro del casco del silenciador. El casco está dividido en compartimientos que permiten absorber estos picos. En esencia, el silenciador elimina los picos de estas pulsaciones y llena los valles, reduciendo la característica de pulsación en la línea de descarga.

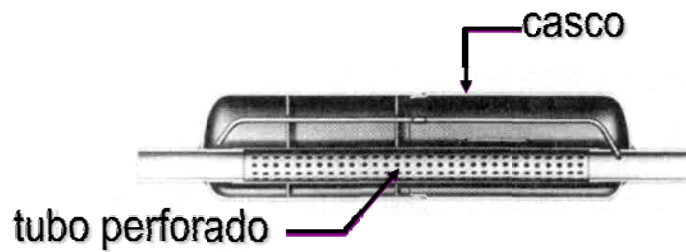


Figura 9. Silenciador

Clasificación de los Sistemas de Aire acondicionado de Expansión Directa:

Unidades Compactas de Techo (Roof Top): Son Unidades de aire acondicionado en las que todos los elementos de sistema están montados sobre una sola base, son instalados en el techo del recinto que se quiere acondicionar y poseen ductos para la circulación de aire hacia el evaporador y condensador. Pueden poseer una o varias etapas y generalmente son utilizados para cargas térmicas moderadas.



Figura 10. Unidad Compacta de Techo

Unidades Fraccionadas (Splits): En estas unidades el conjunto evaporador, ventilador del evaporador y válvula de expansión, están montadas en un grupo dentro del recinto que va a ser acondicionado y fuera del recinto se ubica otro conjunto en el que se encuentran el compresor, condensador y ventilador del condensador. Ambos conjuntos se conectan mediante dos tuberías para la circulación del refrigerante por el circuito.



Figura 11 .Unidad Fraccionada.

Unidades de Ventana: Estas unidades generalmente utilizadas para cargas térmicas pequeñas, contienen todos los elementos del sistema de aire acondicionado en un solo conjunto, no disponen de ductos sino que se instalan con una de las partes del conjunto en contacto con el recinto a acondicionar (evaporador) y con otra expuesta al medio ambiente (condensador).



Figura 12. Unidad de Ventana

Sistema de iluminación:

Principio de Funcionamiento de una Lámpara Fluorescente:

El principal elemento de una lámpara fluorescente es un tubo cargado de un gas inerte (generalmente Argón) y una pequeña cantidad de Mercurio a baja presión, el tubo está recubierto en su interior por una capa de pintura fluorescente (contiene fósforo) y en cada extremo posee un filamento recubierto de calcio y magnesio.

Para encender la lámpara se utiliza un cebador y para mantener una diferencia de potencial a través de ésta se utiliza un balastro.

Al accionar el interruptor para el encendido de la lámpara, el flujo de electrones de la corriente eléctrica al llegar al cebador produce un arco o chispa entre los dos electrodos situados en su interior, lo que provoca que el gas neón (Ne) contenido también dentro de la cápsula de cristal, se encienda. El calor que produce el gas neón encendido hace que una pequeña placa bimetalica, que forma parte de uno de los dos electrodos del cebador, se curve y cierre un contacto eléctrico dispuesto

entre ambos electrodos. Cuando el contacto del cebador está cerrado, se establece el flujo de corriente eléctrica necesaria para que los filamentos del tubo de vidrio se enciendan, a la vez que se apaga el gas neón.

Los filamentos de Tungsteno encendidos provocan la emisión de electrones por calentamiento y la ionización del gas Argón (Ar), contenido dentro del tubo. Esto crea las condiciones previas para que, posteriormente, se establezca un puente de plasma conductor de la corriente eléctrica por el interior del tubo, entre un filamento y otro.

La placa bimetálica del cebador, al dejar de recibir el calor que le proporcionaba el gas neón encendido, se enfría y abre el contacto dispuesto entre los dos electrodos. La fuerte corriente que fluye por dentro del tubo producida por el balastro, provoca que los electrones comiencen a chocar con los átomos del gas Argón, aumentando la cantidad de iones y de electrones libres. Como resultado se crea un puente de plasma, es decir, un gas compuesto por una gran cantidad de iones y de electrones libres, que permite que estos se muevan de un extremo a otro del tubo.

Esos electrones libres comienzan a chocar con una parte de los átomos de Mercurio (Hg) contenidos también dentro del tubo, que han pasado del estado líquido al gaseoso debido a la energía que liberan dichos electrones dentro del mismo. Los choques de los electrones libres contra los átomos de Mercurio excitan a sus electrones, haciendo que liberen fotones de luz ultravioleta.

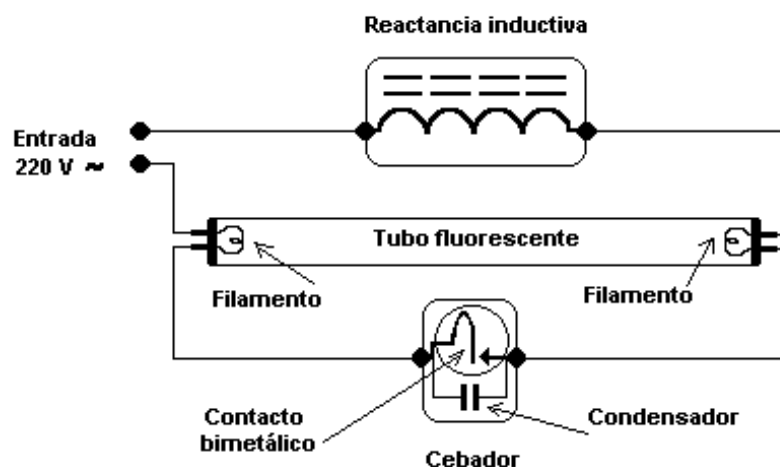


Figura 13. Esquema de Funcionamiento de una Lámpara Fluorescente

Los fotones de luz ultravioleta invisibles para el ojo humano, impactan a continuación contra la capa de Fósforo (P) que recubre la pared interior del tubo fluorescente. El impacto excita los electrones de los átomos de Fósforo (P) los que emiten, a su vez, fotones de luz visible, que hacen que el tubo se ilumine con una luz fluorescente blanca.

El impacto de los electrones que se mueven por el puente de plasma contra los dos electrodos situados dentro del tubo, hace que éstos se mantengan calientes (a pesar que los filamentos se encuentran ya apagados). Mantener caliente esos dos electrodos se hace necesario para que la emisión de electrones continúe y el puente de plasma no se extinga. Las lámparas de tubos fluorescentes tienen la ventaja sobre las lámparas de bombillos incandescentes, que utilizan menor energía eléctrica para generar la misma cantidad de luz, además de tener una vida útil más larga.

Controlador Lógico Programable (PLC):

Un PLC es un controlador basado en microprocesadores destinado a funciones de control y automatización, básicamente, un PLC lee parámetros de proceso y a través de una lógica programada regula, registra, controla o actualiza variables de proceso.

Los PLC están conformados por varios módulos, por ejemplo: el módulo de unidad procesadora y memoria, módulos de entrada, módulos de salida, módulos de comunicaciones y fuente de poder. En los PLC actuales algunos de estos módulos pueden estar integrados al módulo principal de unidad procesadora.



Figura 14. PLC Twido

El Modulo de Unidad Procesadora: (CPU) ejecuta de manera continua el programa en función de los datos contenidos en la memoria, los primeros PLC, en la primera mitad de los 80, eran programados usando sistemas de programación propietarios o terminales de programación especializados, que a menudo tenían teclas de funciones dedicadas que representaban los elementos lógicos de los programas de

PLC. Los programas eran guardados en cintas. Más recientemente, los programas PLC son escritos en aplicaciones especiales en un ordenador, y luego son descargados directamente mediante un cable o una red al PLC. Los PLC viejos usan una memoria no volátil (magnetic core memory) pero ahora los programas son guardados en una memoria RAM con batería propia o en otros sistemas de memoria no volátil como la memoria flash.

Los primeros PLC fueron diseñados para ser usados por electricistas que podían aprender a programar los PLC en el trabajo. Estos PLC eran programados con “lógica de escalera” ("Ladder Logic"). Los PLC modernos pueden ser programados de muchas formas, desde la lógica de escalera hasta lenguajes de programación tradicionales como el BASIC o C. Otro método es usar la Lógica de Estados (State Logic), un lenguaje de programación de alto nivel diseñado para programas PLC basándose en los diagramas de transición de estados.

Recientemente, el estándar internacional IEC 61131-3 define cinco lenguajes de programación para los sistemas de control programables: FBD (Function block diagram), LD (Ladder diagram), ST (Structured Text, similar al lenguaje de programación Pascal), IL (Instruction list) y SFC (Sequential function chart).

Mientras que los conceptos fundamentales de la programación del PLC son comunes a todos los fabricantes, las diferencias en el direccionamiento de entradas y salidas, la organización de la memoria y el conjunto de instrucciones hace que los programas de los PLC nunca se puedan usar entre diversos fabricantes. Incluso dentro

de la misma línea de productos de un sólo fabricante, diversos modelos pueden no ser directamente compatibles.

Módulos de Entradas y Salidas: Son módulos encargados de recibir información del proceso (en el caso de las entradas), para ser procesadas por el CPU o enviar señales para realizar acciones de control (en el caso de las salidas). Los módulos pueden ser mixtos conformados por entradas y salidas o dedicados, además las entradas y salidas pueden ser de tipo analógico o digital.

Las entradas y salidas discretas se caracterizan por presentar dos estados diferenciados: presencia o ausencia de tensión (on/off). Su estado se puede visualizar mediante indicadores tipo LED, que se iluminan cuando hay señal en la entrada o cuando se activa la salida.

Las entradas y salidas analógicas son señales continuas dentro de dos límites con varios rangos de precisión, dependiendo del dispositivo o del número de bits disponibles para almacenar los datos. Presión, temperatura, flujo y peso son normalmente representados por señales analógicas. Las señales analógicas pueden usar tensión (0 a 10 V) o intensidad (4 a 20 ma), con una magnitud proporcional al valor de la señal que procesamos.

Módulos de Comunicación:

Los módulos de comunicación permiten la interacción entre el PLC y varios dispositivos de una red, éstos dispositivos pueden ser otros PLC, módulos de ampliación de entradas y salidas, impresoras, pantallas de visualización de proceso,

lectores de código de barras y ordenadores personales entre otros. Los PLC llevan integrados al menos un puerto de comunicaciones RS232 y opcionalmente pueden llevar RS485 y Ethernet, éstos como los más comunes; Sin embargo es más común generar la conversión de un puerto serial a un USB, puesto que las PC lo demandan. Modbus es el protocolo de comunicaciones de nivel más bajo, aunque hay otros protocolos como Profibus. Existen varios protocolos de comunicaciones útiles para comunicar PLC aparte del Modbus, como por ejemplo el protocolo LonTalk desarrollado por la compañía Echelon (popularmente, son sistemas utilizados en Domótica) o los protocolos Backnet e Ethernet.

Ciclo de Funcionamiento:

Cuando se pone en marcha el PLC se realizan una serie de comprobaciones:

- Funcionamiento de las memorias.
- Comunicaciones internas y externas.
- Elementos de Entrada y Salida.
- Tensiones correctas de la fuente de alimentación.

Una vez efectuadas estas comprobaciones y si las mismas resultan ser correctas, el CPU inicia la exploración del programa y reinicializa. Esto último, si el autómata se encuentra en modo RUN (marcha), ya que de estar en modo STOP (paro) aguardaría, sin explorar el programa hasta la puesta en RUN.

Al producirse el paso al modo STOP o si se interrumpe la tensión de alimentación durante un tiempo lo suficientemente largo, el CPU realiza las siguientes acciones:

- Detiene la exploración del programa.
- Pone a cero, es decir, desactiva todas las salidas.

Mientras se está ejecutando el programa, el CPU realiza en sucesivos intervalos de tiempo distintas funciones de diagnóstico (*watch-dog* en inglés). Cualquier anomalía que se detecte se reflejará en los indicadores de diagnóstico del procesador y dependiendo de su importancia, se generará un código de error o se parará totalmente el sistema.

El tiempo total del ciclo de ejecución viene determinado por los tiempos empleados en las distintas operaciones. El tiempo de exploración del programa es variable en función de la cantidad y el tipo de las instrucciones, así como de la ejecución de subrutinas. El tiempo de exploración es uno de los parámetros que caracteriza a un PLC y generalmente se suele expresar en milisegundos por cada mil instrucciones. Para reducir los tiempos de ejecución, algunos CPU constan de dos o más procesadores que operan simultáneamente y están dedicados a funciones específicas. También se puede descargar las tareas para el CPU, incorporando módulos inteligentes dedicados a tareas específicas.

PLC Twido:

La empresa Telemecanique actualmente comercializa una línea de PLC de gama media-baja llamada Twido. Dentro de esta línea existen varios modelos de PLC, cinco modulares y cuatro compactos. El modelo de PLC Twido a utilizar es específicamente el modelo *TWDLMDA20DUK*.

Este modelo es del tipo modular con 12 entradas y 8 salidas integradas de 24 Voltios CC. Además acepta hasta 4 módulos de expansión de entradas o salidas digitales o analógicas además de un módulo de expansión para comunicaciones. Este modelo posee integrado un conector para red tipo Rs 485, con el que puede ser conectado a una red Modbus o ACSII y dos ranuras de expansión para una tarjeta de reloj calendario o una tarjeta de memoria adicional.

Contactor y Relé:

Un contactor es un interruptor de acción electromagnética cuya misión es conectar e interrumpir repetidamente un circuito eléctrico, puede ser accionado a distancia mediante una corriente eléctrica, comúnmente denominada corriente de llamada. Los Relés tienen el mismo principio de funcionamiento que los contactores, no obstante la diferencia radica en que el Relé maneja menor potencia y está construido de manera integral.

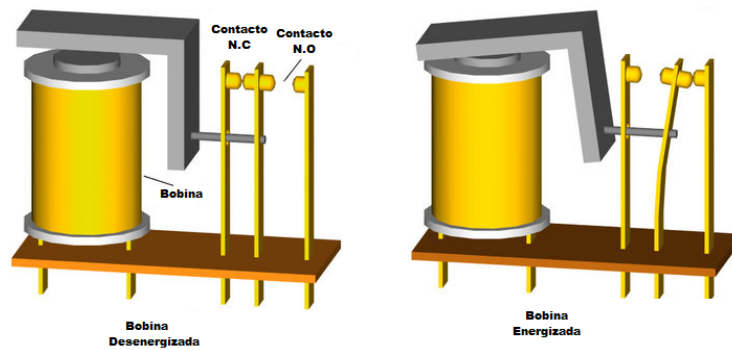


Figura 15. Esquema de Funcionamiento de un Relé

Un contactor está compuesto por varios elementos que se describen a continuación:

-El Electro-imán: Es el elemento motor del contactor. Se compone de un circuito magnético (una bobina y un núcleo de hierro). Su forma varía en función del tipo del contactor y puede eventualmente diferir, según sea la naturaleza de corriente de alimentación alterna o continua.

Un pequeño entre-hierro evita en el circuito magnético en posición de cierre, todo riesgo de remanencia.

Los resortes son los que aseguran la presión entre los polos al momento en que la bobina está energizada, permitiendo así que se logre la separación necesaria de los contactores al desenergizar la bobina.

-La Bobina: Produce el flujo magnético necesario para la atracción de la armadura móvil del electro-imán. Está concebida para resistir a los choques mecánicos provocados por el cierre y la apertura, así como a los choques electromagnéticos, debido al paso de la corriente por sus espiras.

Las bobinas empleadas actualmente son muy resistentes a las sobretensiones, a los choques, a las atmósferas agresivas; están realizadas en hilo de cobre de esmalte reforzado; algunas son reforzadas en cuanto a su construcción. Para conectar la bobina al sistema de control existe dos **Contactos o Polos de Control**, por los que circulará la corriente de llamada.

-Los Polos o Contactos de Potencia: Son los encargados de establecer o interrumpir la corriente en el circuito de potencia. Estos a su vez están elaborados para permitir el paso de la corriente nominal del contactor en servicios continuos sin calentamiento anormal. Se componen de una parte fija y de otra móvil.

Los polos están generalmente equipados de contactos de Plata-óxido de Cadmio, material inoxidable de una gran resistencia tanto mecánica como al arco eléctrico. Cuando el Contactor “corta en carga”; esta carga es cortada para resolver determinados problemas de automatismo.

Los polos están formados por contactos los cuales pueden tener las diferentes combinaciones:

- Contacto instantáneo de cierre (NA), abierto cuando el Contactor está en reposo y cerrado cuando el electro-imán está en tensión.
- Contacto instantáneo de apertura (NC), cerrado cuando el Contactor está en reposo y abierto cuando el electro-imán está en tensión.

- Contacto instantáneo (NANC), cuando el Contactor está en reposo uno de los contactos está cerrado mientras que el otro permanece abierto. Cuando cierra el circuito magnético los contactos se invierten.

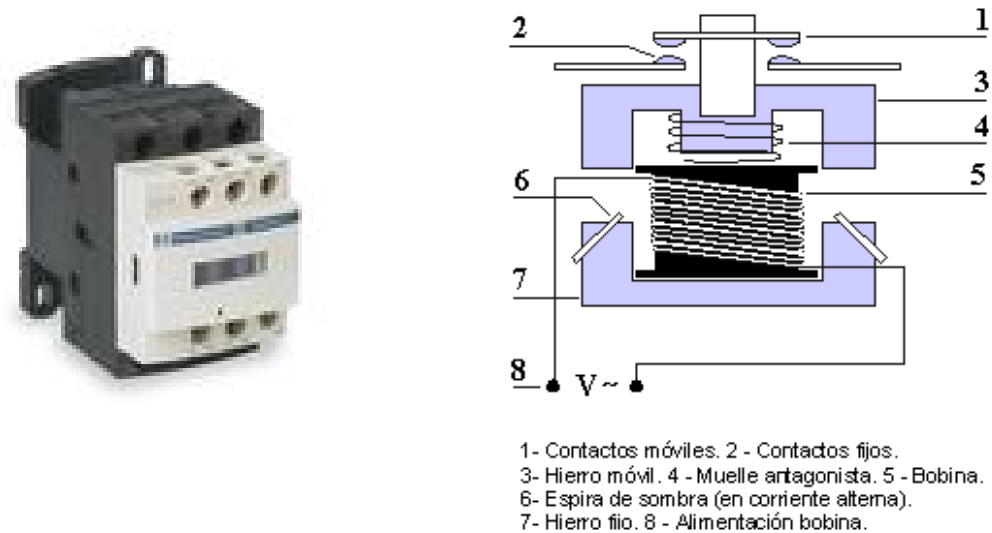


Figura 16. Esquema de Funcionamiento de un Contactor.

Funcionamiento de los Contactores y Relés:

Cuando la bobina es recorrida por la corriente eléctrica, genera un campo magnético intenso de manera que el núcleo atrae con un movimiento muy rápido. Al producirse este movimiento, todos los contactos del Contactor (tanto principales como auxiliares) cambian de posición. Para volver los contactos a su posición inicial reposo basta con desenergizar la bobina.

La corriente absorbida por la bobina es relativamente elevada debido a que prácticamente la única resistencia es el conductor con que está hecha la bobina. En

estas condiciones, el $\cos \delta$ (factor de potencia) es alto (0,8 a 0,9) y la reactancia inductiva muy baja por existir mucho entrehierro entre el núcleo y la armadura.

Una vez cerrado el circuito magnético la impedancia de la bobina aumenta, de manera tal que la corriente de llamada se reduce considerablemente. La corriente formada se la denomina de mantenimiento o trabajo. Ésta es mucho más baja - de 6 a 10 veces menos a la corriente de llamada.

Clasificación de los Contactores:

A) Por tipo de corriente que alimenta la bobina: AC o DC

B) Por la función y la clase de contactos:

1. Contactores principales (con contactos principales y auxiliares)

2. Contactores Auxiliares (con contactos únicamente auxiliares)

C) Por la carga que pueden maniobrar (o categoría de empleo):

1. AC1: cargas no inductivas o débilmente inductivas, cuyo factor de potencia es mínimo 0,95.

2. AC2: para arranques de motores de anillos, inversión de marcha, frenado por contracorriente, marcha a impulsos de motores de anillos, cuyo factor de potencia es de 0,3 a 0,7.

3. AC3: para el control de motores jaula de ardilla que se apagan a plena marcha y que en el arranque consumen de 5 a 7 veces la intensidad normal.
4. AC4: Arranque de motores de rotor en cortocircuito, inversión de marcha, marcha a impulsos, frenado por contracorriente.

Termistor:

Los termistores o resistores térmicos, son dispositivos semiconductores que se comportan como resistencias con un coeficiente de temperatura de resistencia alto y generalmente negativo. Esta característica los hace muy adecuados para medir cambios de temperatura a partir de cambios en su resistencia. Los termistores se componen de una mezcla sintética de óxidos de metales, como Manganeso, Níquel, Cobalto, Cobre, Hierro y Uranio. Su rango de resistencia va de 0.5 ohms a 75 ohms y están disponibles en una amplia gama de formas y tamaños.



Figura 17. Termistor NTC utilizado en el Sistema

Los termistores según su coeficiente de temperatura se clasifican en termistores de coeficiente de temperatura positivo (PTC), donde la resistencia del termistor aumenta a medida que aumenta la temperatura del medio o negativo (NTC), si la resistencia del termistor disminuye a medida que aumenta la temperatura del medio. La relación entre la temperatura y resistencia de un termistor sólo puede considerarse lineal para variaciones muy pequeñas por lo que para rangos de temperaturas mayores debe hacerse una aproximación, utilizando la ecuación de Steinhart- Hart:

$$R = R_0 e^{B \cdot (1/T - 1/T_0)}$$

Donde: R_0 es la resistencia en Ohmios a $T_0 = 298,15$ K

B constante de Steinhart- Hart característica de cada termistor.

R es la resistencia en Ohmios a una temperatura dada T

Redes Ethernet:

Ethernet se refiere a las redes de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3 que define el protocolo CSMA/CD, la norma de Ethernet fue definida por el Instituto para los Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) como IEEE Standard 802.3. Adhiriéndose a la norma de IEEE, los equipos y protocolos de red pueden inter-operar eficazmente.

Ethernet basa su operación en el protocolo MAC CSMA/CD, en el que una estación con un paquete de datos listo para enviar, retarda la transmisión hasta que "sense" o verifique que el medio por el cual se va a transmitir, se encuentre libre o desocupado. Después de comenzar la transmisión existe un tiempo muy corto en el que una colisión puede ocurrir, este es el tiempo requerido por las estaciones de la red para "sensar" en el medio de transmisión.

Ethernet es actualmente uno de los protocolos más usados en redes de área local. Es popular porque permite un buen equilibrio entre velocidad, costo y facilidad de instalación. Estos puntos fuertes, combinados con la amplia aceptación en el mercado y la habilidad de soportar virtualmente todos los protocolos de red populares, hacen a Ethernet la tecnología ideal para la red de la mayoría los usuarios de la informática actual. Adhiriéndose a la norma de IEEE, los equipos y protocolos de red pueden interoperar eficazmente.

Los elementos de una red Ethernet son: los nodos de red y el medio de interconexión. Los nodos de red pueden clasificarse en dos grandes grupos: Equipo Terminal de Datos (DTE) y Equipo de Comunicación de Datos (DCE). Los DTE son dispositivos de red que generan o que son el destino de los datos: como las PC, las estaciones de trabajo, los servidores de archivos, los servidores de impresión; todos son parte del grupo de las estaciones finales. Los DCE son los dispositivos de red intermediarios que reciben y retransmiten los paquetes de datos dentro de la red; pueden ser: ruteadores, conmutadores (switch), concentradores (hub), repetidores o

interfaces de comunicación. Cada tarjeta de red posee una dirección MAC única, que permite la identificación del dispositivo en la red, así como una dirección IP.

Protocolo de Comunicaciones Modbus:

Modbus es un protocolo de comunicaciones de red basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor. Este protocolo fue desarrollado por la compañía Modicon en el año 1979 para la comunicación de PLCs y se ha convertido en el protocolo más difundido y utilizado para la comunicación de equipos electrónicos industriales.

Existen dos variantes del protocolo Modbus, con diferentes representaciones numéricas de los datos y detalles de protocolo ligeramente desiguales. Modbus RTU es una representación binaria compacta de los datos. Modbus ASCII es una representación legible del protocolo pero menos eficiente. Ambas implementaciones del protocolo son serie. El formato RTU finaliza la trama con suma de control de redundancia cíclica (CRC), mientras que el formato ASCII utiliza una suma de control de redundancia longitudinal (LRC). La versión Modbus/TCP es muy semejante al formato RTU, pero estableciendo la transmisión mediante paquetes TCP/IP.

Un una red Modbus cada dispositivo posee una dirección única. Cualquier dispositivo puede enviar órdenes Modbus, aunque lo habitual es permitirlo sólo a un dispositivo maestro. Cada comando Modbus contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden. Todos los dispositivos reciben la orden pero sólo el

destinatario la ejecuta (salvo un modo especial denominado "Broadcast"). Cada uno de los mensajes incluye información redundante que asegura su integridad en la recepción. Los comandos básicos Modbus, permiten controlar un dispositivo Terminales Remotos (RTU) para modificar el valor de alguno de sus registros o bien solicitar el contenido de dichos registros.

Existe gran cantidad de módems que aceptan el protocolo Modbus. Algunos están específicamente diseñados para funcionar con este protocolo. Existen implementaciones para conexión por cable, Inalámbricos, SMS o GPRS.

Condiciones de Confort :

El estándar 55 de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire acondicionado ASHRAE define al “Confort” como un estado mental que expresa satisfacción con el ambiente circundante. EL confort es afectado por varios factores como la transferencia de calor del medio circundante, la temperatura y humedad exterior, la velocidad del aire climatizado, el nivel de actividad de las personas dentro del espacio y su vestimenta. El confort es mantenido siempre y cuando el calor generado por el metabolismo humano sea capaz de ser disipado manteniendo el equilibrio térmico del espacio circundante, cualquier ganancia o pérdida de calor por encima de este rango genera una sensación de desconfort.

La temperatura de Bulbo seco es la temperatura que mediría un sensor de temperatura o un termómetro común, esta temperatura de bulbo seco es la variable a la que el cuerpo humano responde principalmente.

La Temperatura Radiada está relacionada al calor que el cuerpo humano transfiere al medio ambiente circundante por radiación o por intercambio con superficies dentro del espacio a climatizar.

La Humedad Relativa está relacionada a la cantidad de vapor de agua presente en el aire del espacio a climatizar, no afecta de manera determinante el estado de confort de un individuo a menos que esta esté por debajo del 30% o por encima del 85% . La humedad relativa del aire está directamente relacionada a la sensación de sequedad o humedad que percibimos afectando directamente nuestra sensación de confort, si la humedad relativa es demasiado alta (más de 80%) se dificulta la evaporación del sudor en la piel del individuo evitando el enfriamiento evaporativo del cuerpo.

La velocidad del aire indica que tan rápido el aire circula a través del espacio y afecta la el intercambio de calor entre el cuerpo humano y el aire del medio por convección. La condición ideal deberá proveer aire a temperatura igual o menor a la de la piel del individuo, de lo contrario el aire calentará la piel del mismo. La velocidad del aire en combinación con la humedad relativa acentúa los efectos de la misma en el cuerpo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

MARCO METODOLÓGICO

Etapas Documentales:

Esta etapa contempla la investigación de todas las características, secuencia de de operación, configuración, especificaciones técnicas y estado de funcionamiento actual de los sistemas de aire acondicionado instalados actualmente en el edificio, para poder establecer que variables a controlar.

En vista que el PLC del que se dispone para el proyecto es un Twido de Telemecanique, es necesario la revisar las características de funcionamiento y capacidades de este autómata programable. La revisión incluye las expansiones, protocolos de comunicación y software que utiliza este PLC, para configurarlo además con los accesorios necesarios para su funcionamiento y adecuación a los requerimientos del proyecto.

Por último, es necesario investigar sobre los diferentes sensores y actuadores existentes en el mercado para automatizar los sistemas de aire acondicionado y luminarias del edificio, con el fin de seleccionar los que mejor se adapten a las características del PLC y a los requerimientos del proyecto.

Se establecen entonces los requerimientos civiles, mecánicos y eléctricos que se deben tomar en cuenta para la instalación del PLC, sensores y actuadores en el edificio, por ser puntos de sujeción para las bandejas portables, sensores y actuadores y tomas de energía eléctrica entre otros.

Etapas de Diseño:

Esta etapa comprende el diseño del sistema de control a instalar en el edificio, incluye el establecimiento de las variables a controlar, el diseño de la arquitectura del sistema y la elaboración tanto del programa a utilizar por el PLC para funcionar de forma independiente, como de un sistema que permita la interacción de los usuarios con el PLC mediante un computador personal.

También se incluye en esta etapa la selección de los sensores, actuadores, tarjetas de expansión y comunicación del PLC; así como la planificación de las conexiones entre los dispositivos, la ubicación del cableado y tablero del PLC, dimensionamiento y modo de sujeción de las bandejas portacables, la selección de los puntos de alimentación para el PLC y los actuadores dentro del edificio además de la localización de los sensores y actuadores de sistema.

Etapas de Campo:

Comprende la instalación del sistema de control en el edificio, comenzando por las canalizaciones para el cableado y el cajetín que protege el PLC, para luego conectar los sensores y actuadores a las entradas y salidas del PLC, terminando con la carga del programa de control en el PLC, instalación de la Interface para los usuarios en los computadores personales de la escuela y un tablero para anular el sistema.

CAPÍTULO IV

LA PROPUESTA

LA PROPUESTA

Inventario de equipos:

El edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela posee 34 espacios climatizados por sistemas de aire acondicionado e iluminados artificialmente además de dos corredores, un Lobby y una escalera en la Zona Sur. En planta baja se utilizan tres unidades tipo fraccionado para acondicionar diferentes espacios, tales como: la biblioteca de la escuela, la sala de estudios y seis oficinas de profesores en la parte norte del edificio.

Todos los espacios restantes de la planta baja son climatizados por unidades de ventana individuales. En la planta superior los espacios son acondicionados por cinco unidades de techo y tres unidades fraccionadas.

Es importante destacar que la mayoría de los espacios carecen de termostatos o éstos no se encuentran operativos; en los casos en los que una sola unidad de aire acondicionado, ya sea Compacta de Techo o Fraccionada acondiciona varios espacios, la temperatura de cada espacio por separado no es controlada, sino que se utiliza un interruptor cableado al contacto normalmente abierto del sistema de control de la unidad, que debería ser accionado por un termostato.

La carencia de sistemas de control de temperatura de los espacios climatizados por estas unidades afecta negativamente las condiciones de confort de los usuarios y crea la necesidad constante para los mismos de trasladarse al interruptor de la unidad a encender o apagar la misma, sin contar que por descuido la

unidad en ocasiones queda encendida luego de haber terminado la jornada de trabajo consumiendo energía innecesariamente.

La iluminación de todo el edificio se lleva a cabo por medio de lámparas de 4 tubos fluorescentes de 40 W cada uno, distribuidas a lo largo todos los espacios del edificio y los pasillos. La biblioteca y los pasillos de la planta baja del edificio carecen de interruptores externos, por lo que las lámparas de estos espacios se encuentran permanentemente encendidas incluso fuera del horario de actividad de la escuela.

A continuación se presenta un cuadro con la distribución de los sistemas aire acondicionado por espacio:

Tabla 1. Distribución unidades de Aire Acondicionado de la Planta Superior:

Espacio	Aire Acondicionado
Aula 202	Unidad Compacta de Techo Top #1
Aula 203	Unidad Compacta de Techo #2
Aula 204	Unidad Fraccionada #1
Aula 205	Unidad Compacta de Techo #3
Aula 206	Unidad Fraccionada #2
Aula 213	Unidad Fraccionada #3
Aula 214	Comparte Unidad Fraccionada # 3
Dpto. Energética	Unidad Compacta de Techo #4

Dpto. Diseño	Comparte Unidad Compacta de Techo # 4
Dpto. Producción	Comparte Unidad Compacta de Techo # 4
Oficina. Prof. # 1	Comparte Unidad Compacta de Techo # 4
Oficina Prof.# 2	Comparte Unidad Compacta de Techo # 4
Oficina Profa.# 3	Comparte Unidad Compacta de Techo # 4
Oficina Prof.# 4	Comparte Unidad Compacta de Techo # 4
Dirección	Unidad Compacta de Techo # 5
Oficina Prof.# 5	Comparte Unidad Compacta de Techo # 5
Sala de Computación I	Comparte Unidad Fraccionada # 3
Sala de Computación II	Comparte Unidad Fraccionada # 3

Tabla 2. Distribución unidades de Aire Acondicionado de la Planta Baja:

Espacio	Aire Acondicionado
Sala de Estudios	Unidad Fraccionada # 4
Biblioteca	Unidad Fraccionada # 5
Sala de Tesistas	Comparte la Unidad Fraccionada # 4
Oficina Prof. # 7	Unidad Fraccionada # 6
Oficina Prof. # 8	Unidad Fraccionada # 6
Oficina Prof. # 9	Unidad Fraccionada # 6
Oficina Profa. # 10	Unidad Fraccionada # 6
Oficina Prof.# 18	Unidad Fraccionada # 6
Laboratorio Automática	Unidad de Ventana #1
Aula 301	Unidad Fraccionada # 7
Oficina Prof.# 6	Comparte Unidad Fraccionada # 7
Aula 119	Unidad de Ventana # 2
Laboratorio Diseño	Unidad de Ventana # 3
Laboratorio Controles Automáticos	Unidad de Ventana #4
Laboratorio Instrumentación	Unidad de Ventana #5
Lab. Tecnológica Mecánica	Unidad de Ventana #6
Lab.Tecnología Mecánica I	Dos Unidades de Ventana # 7 y 8
Lab Tecnología	Unidad de Ventana # 9
Oficina Prof.#11	Unidad de Ventana # 10
Oficina Prof.#16	Unidad de Ventana # 11
Oficina Prof. # 17	Unidad de Ventana # 12
Lab Vibraciones I	Unidad de Ventana # 13
Lab Vibraciones II	Unidad de Ventana # 14
Centro de Estudiantes	Unidad de Ventana # 15

Tabla 3. Características de las Unidades de Aire Acondicionado tipo Roof Top:

Nombre	Modelo	Descripción
Unidad Compacta de Techo #1 Aula 202	CLIMAR MODELO: PHC-4831 Ver figura #18	- CAPACIDAD: 4 TON - 1 COMP 208/230V 4 HP 3 FASES - 1 VENT 208/230V- 1/3 HP 1 FASE - 1 SOPLADOR 3/4 HP 1 FASE - REFRIGERANTE R-22
Unidad Compacta de Techo #2 Aula 203	CLIMAR MODELO: PHC-4831 Ver figura #19	- CAPACIDAD: 4 TON - 1 COMP 208/230V 4 HP 3 FASES - 1 VENT 208/230V- 1/3 HP 1 FASE - 1 SOPLADOR 3/4 HP 1 FASE - REFRIGERANTE R-22
Unidad Compacta de Techo #3 Aula 205	YORK MODELO: PAC060H10C32A Ver figura #21	- CAPACIDAD: 5 TON - 1 COMP 230 V 3 FASES . RLA 16 Amp - 1 VENTILADOR 230V 1/3 HP 1 FASE - 1 SOPLADOR 230V 3/4 HP 1 FASE - REFRIGERANTE R-22
Unidad Compacta de Techo #4 Oficinas Piso1	FRIOVEN MODELO: THP150ACD Ver figura #25	- CAPACIDAD: 12,5 TON -1 SOPLADOR 2 HP 200/240V 3 FASES -2 VENT 200/240V 1 FASE 1/3 HP -1 COMP 20 HP 200/240V 3 FASES - REFRIGERANTE R-22
Unidad Compacta de Techo #5 Dirección	YORK MODELO: DCE090A25A Ver figura #23	- CAPACIDAD: 7,5 TON DOS ETAPAS: - 2 COMP 208/230V 4 HP 3 FASES. -1 SOPLADOR 208/230V 3/2 HP 3 FASES -2 VENT 208/230 V ¼ HP 1 FASE

Tabla 4. Características de las Unidades de Aire Acondicionado tipo Split:

Nombre	Modelo	Descripción
Unidad Fraccionada #1 Aula 206	RHEEM MODELO: SAB-048JAF Ver figura #22	- CAPACIDAD: 4 TON -1 COMP RLA 27,6 AMP 208/230V 1 FASE. -1 VENT 1/10 HP 1 FASE -SOPLADOR 1/2 HP 1 FASE 208/230V
Unidad Fraccionada # 2 Aula 204	RHEEM MODELO: SAB-048JAF Ver figura #20	- CAPACIDAD: 4 TON -1 COMP RLA 27,6 AMP 208/230V 1 FASE. -1 VENT 1/10 HP 1 FASE -SOPLADOR 1/2 HP 1 FASE 208/230V
Unidad Fraccionada #3	NO PRESENTE	NO PRESENTE
Unidad Fraccionada #4 Biblioteca	CARRIER MODELO: FBA060GB2 Ver figura #27	- CAPACIDAD: 5 TON -1 COMP 208/230V 1 FASE RLA 25 AMP -1 VENT 1/4 HP 1 FASE -1 SOPLADOR 3/4 HP 1 FASE
Unidad Fraccionada #5 Sala de Estudios	CARRIER MODELO: FCA060GB1 Ver figura #28	- CAPACIDAD: 5 TON -1 COMP 208/230V 1 FASE RLA 20 AMP -1 VENT 1/4 HP 1 FASE -1 SOPLADOR 3/4 HP 1 FASE
Unidad Fraccionada	CARRIER	- CAPACIDAD: 4 TON -1 COMP RLA 24AMP

#6 Oficinas PB #7, #8, #9, # 10 y #18	MODELO: 3CHK048300 Ver figura #26	-1 VENT 208/230 V 1 FASE 1/2 HP 1 FASE -1 SOPLADOR 1 HP 208/230 V 1 FASE
Unidad Fraccionada #7 Aula 301 y Oficina #6	YORK MODELO: EA048H1015A Ver figura #24	- CAPACIDAD: 4 TON - 1 COMP 208/230V 3 HP 3 FASES - 1 SOPLADOR 208/230 V 1/2 HP 1 FASE - 1 VENTILADOR 1/2 HP 1 FASE 208/230 V

Tabla 5. Características de los Sistemas de Iluminación de las Áreas Comunes:

Pasillos Planta Baja	20 Lámparas de 4 Tubos Fluorescentes 40 W C/u, 110V
Pasillos Planta Alta	20 Lámparas de 4 Tubos Fluorescentes 40 W C/u, 110V
Sala de Estudios	10 Lámparas de 4 Tubos Fluorescentes 40 W C/u, 110 V
Biblioteca	10 Lámparas de 4 Tubos Fluorescentes 40 W C/u, 110V

Descripción del Sistema de Control Implementado:

El sistema de control se enfoca en optimizar las condiciones de confort de los usuarios, asegurando una temperatura adecuada dentro de los espacios siguiendo además el horario de actividad del edificio para lograr la reducción del tiempo de operación diario de los equipos de aire acondicionado e iluminación incluidos en el sistema de control ya que mediante la reducción del tiempo de operación diario de los equipos se puede inferir un ahorro de energía eléctrica.

Control de la Iluminación:

Se controla la iluminación de los espacios de uso común en el edificio como pasillos, salas de estudios y biblioteca; puesto que éstos son los espacios que se prestan al descuido de los usuarios, además de poseer un número considerable de lámparas. Estos espacios comunes son controlados por contactores conectados en serie con el interruptor principal de dichas lámparas en cada espacio; y en caso que algún usuario requiera eliminar momentáneamente la iluminación del espacio (para utilizar un proyector o realizar mantenimiento, por ejemplo), puede hacerlo cómodamente sin tener que trasladarse hacia el centro de control del PLC, además de lograr un seccionamiento seguro.

Siendo que los contactores de los que se dispone para el proyecto son tripolares, los espacios se encuentran dispuestos en grupos para que un sólo contactor

controle la iluminación de varios circuitos y así aprovechar los tres polos de cada contactor, disminuyendo además la cantidad de contactores a utilizar.

A cada contactor del encendido de luces le corresponde una salida digital del PLC, la salida del PLC se activa durante el horario de actividad del edificio y tiene unos segundos de retraso para la activación de cada salida, con la finalidad de prevenir sobrecargas en el sistema eléctrico del edificio, adicionalmente cada espacio posee asociado un bloque de horario individual en el programa del PLC para poder controlar el horario de cada espacio independientemente, según los requerimientos de los usuarios.

Debido a que los contactores de los que se dispone para el proyecto, poseen bobinas que necesitan una diferencia de potencial de 120 V C.A para operar y las salidas digitales del PLC Twido proporcionan 24 V C.C., es necesario entonces utilizar un relé a cada salida del PLC dedicado a iluminación, de manera que los 24 V C.C de la salida del PLC activen la bobina del relé y éste a su vez, estando conectado a una línea común de 120 V A.C, pueda energizar la bobina de 120 V C.A del contactor. Para proteger el PLC en caso de alguna falla en el sistema eléctrico, es necesario conectar en serie con cada salida utilizada un fusible, además, la línea de 120 V C.A es conectada al contacto normalmente cerrado de cada relé, para que en caso de alguna falla en el PLC, las luces del espacio controlado permanezcan encendidas.

Control de Sistemas de Aire Acondicionado:

Control de Unidades Compactas de Techo y Unidades Fraccionadas:

La operación de estas unidades está asociada a dos variables: la temperatura del espacio o los espacios que acondicione la unidad y el horario de trabajo del espacio climatizado. Para medir la variable temperatura el tipo de sensor a utilizar es un termistor de coeficiente de temperatura negativo (NTC), la curva exponencial de Resistencia vs Temperatura característica del termistor es programada en el PLC para que en el momento en que la temperatura sea mayor que una temperatura establecida en la programación el PLC active la salida correspondiente al arranque del equipo de aire acondicionado, además, el arranque del aire acondicionado está condicionado a la hora del día de manera que la unidad sólo arranque durante las horas de actividad del edificio.

Para evitar que la salida del PLC active y desactive la unidad de aire acondicionado repetidamente cuando la resistencia del termistor se está acercando a la resistencia correspondiente al punto de ajuste de temperatura establecido (la resistencia del termistor en ocasiones fluctúa rápidamente debido a su sensibilidad) se incorpora un bloque temporizador que retarda la activación de la salida que activa la unidad de aire acondicionado unos minutos luego de que la temperatura haya alcanzado el punto de ajuste y otro temporizador para retardar el apagado, de esta manera se alarga la vida del compresor y otros componentes de la unidad de aire acondicionado.

Adicionalmente, para el control de la temperatura en casos en los que una sola unidad de aire acondicionado acondiciona varios espacios se utiliza un termistor en cada espacio conectado también a una entrada analógica del PLC pero en este caso la salida del PLC es programada para que se active al comparar el punto de consigna con el promedio entre las temperaturas registradas por los diferentes termistores del área además del horario especificado para esa área.

La conexión entre las salidas digitales del PLC para el arranque de las unidades de aire acondicionado se realiza mediante Relés que reemplazan el contacto que realizaría el termostato en cada unidad de estar presente en estas de manera de permitir al controlador interno que posee cada unidad de aire acondicionado controle por sí misma las variables internas de la máquina como el arranque de sus compresores, ventiladores y válvulas al recibir el requerimiento de enfriamiento. De esta manera es posible ahorrar conexiones de salida en el PLC, contactores y cableado ya que de lo contrario se necesitarían como mínimo tres contactores para controlar los dos ventiladores y el compresor de cada unidad en las unidades de una etapa y en las unidades con dos etapas se necesitaría un mínimo de seis.

Dentro de la programación del PLC se especifica que en caso de que algún termistor registre una temperatura mayor a los 50 grados centígrados se apague la unidad de aire acondicionado.

Las unidades de ventana presentes en las oficinas y laboratorios de la planta baja del edificio no son incluidas dentro del sistema de control. Las Unidades de

ventana que se encuentran en buen estado operativo son unidades que poseen su propio sistema de control de temperatura y acondicionan espacios que no son de uso frecuente y continuo dentro de la jornada de actividad del edificio, por lo que encenderlas siguiendo el horario de trabajo del edificio provocaría un mayor gasto de energía que el que se tiene con la operación manual. Finalmente el PLC del que se dispone para el proyecto solo permite 16 entradas analógicas tipo termistor que fueron utilizadas para el control de temperatura de las unidades compactas de techo y fraccionadas de espacios comunes a los que se les dio prioridad en el diseño del sistema de control pues son de mayor capacidad, generan mayores consumos de energía y proveen confort a una mayor cantidad de usuarios por períodos de tiempo prolongado (aulas de clases y oficinas que son frecuentemente usadas).

Modo de Operación:

El PLC controla por separado la iluminación de las áreas comunes y climatización de las áreas con unidades de aire acondicionado compactas de techo y fraccionadas del edificio activando las salidas para el encendido de las lámparas según el horario de trabajo normal del edificio de Lunes a Viernes de 6:30 am a 10 pm (como horario inicial) durante los meses de los semestres regulares y en el caso de las unidades de aire acondicionado en función de la temperatura de los espacios en conjunto con el horario establecido.

Para permitir la realización de actividades dentro del edificio en días fuera del horario de trabajo normal como días de semana o semestre intensivo, se programó el PLC de manera que utilizando una pequeña interface los usuarios puedan activar manualmente la iluminación y aire acondicionado de cada espacio por separado durante un lapso de 240 minutos. En la tabla #12 de la sección de anexos se presenta el horario de ocupación diario de cada espacio.

Ya que al PLC le fue instalado un módulo de comunicaciones Modbus sobre Ethernet es posible interconectar el PLC una red internet inalámbrica dedicada utilizando un Ruteador y de ésta manera con sólo instalar el programa de Interface Gráfica y suministrar la correspondiente clave de acceso controlar las operaciones y el horario del PLC desde cualquier computadora personal en el edificio con tarjeta de red inalámbrica .

Ya que el “Confort” es un término subjetivo que depende de cada individuo, para el establecimiento inicial de la temperatura adecuada para los espacios se utiliza el estándar ASHRAE 55 como base para una primera aproximación de temperatura de bulbo seco de punto de ajuste de temperatura. Dado que el sistema contará con la posibilidad de que cada usuario dependiendo de sus privilegios de control pueda variar el punto de ajuste de temperatura de los espacios y que el PLC a utilizar no posee capacidad de registrar y mucho menos variar la humedad relativa o la velocidad del aire suministrado solo se tomó en cuenta un rango de temperatura de bulbo seco.

El Estándar ASHRAE 55-1992 especifica, tomando como base estudios realizados por la Universidad de Kansas, rangos de temperatura de confort para estaciones verano de 22,5 a 26 °C como temperatura ideal del cuerpo humano en condiciones sedentarias y valores de humedad relativa entre 40 y 60 % para proveer condiciones de confort al el 95 % de los ocupantes de un espacio. En base a estos datos y tomando en cuenta registros de temperatura ambiente y humedad del área donde se encuentra la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela (ver Tabla #13 de la Sección de Anexos) se toma entonces una temperatura aproximada de 24 °C como punto de ajuste inicial en el programa del PLC (se toma una velocidad del aire aproximada de 0,5 m/s que es el ambiente idóneo para un espacio en el que no se sienten corrientes de aire fuertes por los ocupantes según ASHRAE) .Es importante destacar que este punto de ajuste es sólo una aproximación inicial para el programa ya que los usuarios podrán ir modificando a su gusto el punto de ajuste de temperatura de los espacios mediante la interfase inalámbrica del controlador para adaptarse a la temperatura de confort que los usuarios deseen.

El horario que controlará la actividad de las unidades de aire acondicionado Compactas de Techo y Fraccionadas depende del horario de ocupación programado para cada espacio según la programación del semestre en curso, que en este caso es de 7 am a 7 pm para las aulas de clases, 3 pm a 5 pm para la sala de computación 206 y en algunos casos como la biblioteca, y oficinas donde el personal labora de 7 am a 5 pm este fue el horario programado.

Hardware Utilizado:

Para la adecuación del PLC Twido del que se dispone en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV al sistema de control diseñado son necesarios varios accesorios, principalmente accesorios que permitan ampliar el número de entradas y salidas del PLC así como también mejorar sus capacidades de conexión a redes.

El PLC Twido Modelo TWDLMDA20DUK es un PLC modular que posee integradas doce entradas y ocho salidas de 24 voltios CC tipo transistor además de un puerto RS 232 para comunicaciones y posibilidad para expansiones de memoria, entradas y salidas, módulos para conexión Ethernet entre otras características.

Para que el PLC fuese capaz de registrar la temperatura de los termistores fue necesario adicionar al PLC dos módulos de expansión TWDARI8HT para entradas analógicas, en este caso específicamente diseñados para ser compatibles con sensores de temperatura. Ya que el modelo de PLC del que se dispone sólo permite la instalación de cuatro módulos de expansión y se necesita primordialmente aumentar el número de salidas digitales del PLC sólo se utilizaron dos módulos TWDARI8HT que en conjunto proporcionan dieciséis entradas analógicas para sensores de temperatura.

Con el fin de aumentar el número de salidas digitales del PLC se utilizan dos módulos TDWDDDO32UK de treinta y dos salidas tipo transistor sumidero cada uno, esta cantidad de salidas será útil en ampliaciones futuras al sistema de control para poder controlar la iluminación de cada uno de los espacios y los sistemas de aire

acondicionado de ventana presentes en el edificio ente otros sistemas que por razones de presupuesto en el caso de la iluminación y el avanzado deterioro de los equipos en el cado de los aires de ventana no fueron automatizados en este proyecto . También es necesario, para poder utilizar las funciones de calendario, fecha y hora del Twido instalar en este un pequeño módulo reloj denominado TDWXCPRTC.

Por último se utilizó un módulo Twidoport 499TWD01100 que hace posible la conexión de el PLC a una red Ethernet por medio de un Ruteador inalámbrico. De esta manera hacer posible la conexión inalámbrica de varias computadoras personales en la red Ethernet del edificio a la interface del PLC para poder ajustar horarios, temperaturas de los espacios y monitorear el funcionamiento del mismo.

Sensores y Actuadores Utilizados en Cada Espacio:

A continuación se presenta una tabla con los sensores y actuadores instalados en cada espacio, necesarios para poner en marcha el sistema de control:

Tabla 6. Sensores y Actuadores Instalados en la Planta Superior:

Espacio	Aire Acondicionado
Aula 202	-Termistor NTC -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Aula 203	-Termistor NTC -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Aula 204	-Termistor NTC

	-Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Aula 205	-Termistor NTC -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Aula 206	-Termistor NTC -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Aula 213	-Termistor NTC -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Aula 214	-Termistor NTC -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Dpto. Producción	-Termistor NTC
Dirección	-Termistor NTC -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Sala de Computación I	-Termistor NTC
Aula 301	-Termistor NTC
Oficina Profa. Santaromita	-Termistor NTC -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato

Tabla 7. Sensores y Actuadores Instalados en Planta Baja:

Espacio	Aire Acondicionado
Sala de Estudios	-Termistor NTC -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Biblioteca	-Termistor NTC -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Oficina Prof. #9	-Termistor NTC -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Oficina Prof.# 7	-Termistor NTC

Tabla 8. Sensores y Actuadores Instalados en el sistema de Iluminación de Áreas Comunes:

Área	Sensor y Actuador
Pasillos Planta Baja	2 Contactores AC-1 control 110Vca/ Contactos 120 V ca/ 25 amp -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Pasillos Planta Alta	2 Contactores AC-1 control 110Vca/ Contactos 120 V ca/ 25 amp

	-Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Iluminación Sala de Estudios	2 Contactores AC-1 control 110Vca/ Contactos 120 V ca/ 25 amp -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato
Iluminación Biblioteca	2 Contactores AC-1 control 110Vca/ Contactos 120 V ca/ 25 amp -Relé 24 V dc/ 24 Vac en conexión del termostato

Tabla 9. Características de los Sensores y Actuadores utilizados:

Cantidad	Descripción	Foto
16	Termistor tipo NTC , Resistencia : 2000 Ω @ 25 °C	
5	Contactor tipo AC-1 Bobina 110 AC, Contactos 120V AC , 25 Amp	
16	Relé de Bobina 24 VDC, Contactos 120V AC , 10 Amp	

**Características de los Módulos de expansión y accesorios instalados en el
PLC Twido:**

A continuación se presenta una tabla con las características de los módulos instalados en el PLC Twido para adaptarlo a los requerimientos del sistema diseñado:

Tabla 10. Características de Módulos de Expansión del PLC:

Cantidad	Modelo	Descripción	
1 Módulo	TDWXCPRTC	Real Time Clock para poder utilizar las opciones de fecha y hora del PLC	
2 Módulos	TWDARI8HT	Módulo de 8 entradas ANALÓGICAS compatibles con termistores NTC o PT100 , 10 bits	
2 Módulos	TDWDDDO32UK	Módulo 32 Salidas Transistor 24Vdc Sink 0,1A(PNP) Conex. con Cable HE10.	

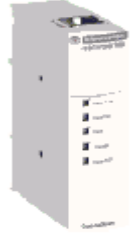
1 Módulo	Twidoport 499TWD01100	Módulo de comunicación Ethernet para Twido (RJ45)	
-------------	--------------------------	--	---

Tabla 11. Direccionamiento de las variables:

Variable	Dirección en Programa del PLC:	Tipo
Temperatura Aula 202	%IW1.0	Analógica Termistor NTC
Temperatura Aula 203	%IW1.1	Analógica Termistor NTC
Temperatura Aula 204	%IW1.2	Analógica Termistor NTC
Temperatura Aula 205	%IW1.3	Analógica Termistor NTC
Temperatura Aula 206	%IW1.4	Analógica Termistor NTC
Temperatura Aula 213	%IW1.5	Analógica Termistor NTC
Temperatura Sala de Estudios	%IW1.6	Analógica Termistor NTC
Temperatura Biblioteca	%IW1.7	Analógica Termistor NTC
Temperatura Oficina Prof.# 7	%IW2.0	Analógica Termistor NTC
Temperatura Dpto. Producción	%IW2.1	Analógica Termistor NTC
Temperatura Oficina Prof.# 1	%IW2.2	Analógica Termistor NTC
Temperatura Dirección	%IW2.3	Analógica Termistor NTC

Temperatura Aula 301	%IW2.4	Analógica Termistor NTC
Temperatura Oficina Prof.# 6	%IW2.5	Analógica Termistor NTC
Temperatura Sala de Computación	%IW2.6	Analógica Termistor NTC
Temperatura Oficina Prof.# 9	%IW2.7	Analógica Termistor NTC
Relé Termostato 202	%Q3.1	Digital 24 V DC Normalmente Abierto
Relé Termostato 203	%Q3.3	Digital 24 V DC Normalmente Abierto
Relé Termostato 204	%Q3.5	Digital 24 V DC Normalmente Abierto
Relé Termostato 205	%Q3.8	Digital 24 V DC Normalmente Abierto
Relé Termostato 206	%Q3.10	Digital 24 V DC Normalmente Abierto
Relé Termostato 214	%Q3.12	Digital 24 V DC Normalmente Abierto
Relé Termostato Dirección	%Q3.14	Digital 24 V DC Normalmente Abierto
Relé Termostato Departamentos	%Q3.31	Digital 24 V DC Normalmente Abierto
Relé Termostato 301	%Q3.19	Digital 24 V DC Normalmente Abierto
Relé Termostato Biblioteca	%Q3.29	Digital 24 V DC Normalmente Abierto
Relé Termostato Sala Estudios	%Q4.6	Digital 24 V DC Normalmente Abierto
Relé Termostato Oficinas Prof PB.	%Q3.27	Digital 24 V DC Normalmente Abierto

Pasillos Planta Baja	%Q3.23	Digital 24 V DC Normalmente Cerrado
Pasillos Planta Alta	%Q4.0	Digital 24 V DC Normalmente Cerrado
Iluminación Sala de Estudios	%Q4.1	Digital 24 V DC Normalmente Cerrado
Iluminación Biblioteca	%Q4.2	Digital 24 V DC Normalmente Cerrado

Lamentablemente el PLC Twido que provee la universidad para la elaboración del proyecto no posee la capacidad de guardar reportes o tendencias, por lo que las labores de prueba y reportes de funcionamiento no pueden llevarse a cabo, en caso de que se requieran estos reportes es necesario entonces instalar un sistema de control y adquisición de datos que permita guardar reportes de funcionamiento y estado de las variables en una estación de trabajo conectada al PLC.

Consideraciones sobre la medición del consumo eléctrico del edificio:

Si bien dentro de los objetivos del proyecto se incluye la comparación del consumo eléctrico del edificio antes y después de la instalación del sistema de automatización, dicha medición no es posible dentro del periodo de ejecución del mismo debido a las características actuales del cableado del Edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Para realizar una medición efectiva del consumo eléctrico de una unidad de aire acondicionado es necesario medir la potencia eléctrica que consume el equipo por unidad de tiempo. Recordemos que la potencia eléctrica es el producto de la diferencia de potencial por la intensidad de corriente y factor de potencia.

El edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV posee diferentes líneas de alimentación tanto subterráneas como aéreas provenientes tanto del sistema eléctrico central de la universidad como de los galpones vecinos a ella en los que funcionan los laboratorios. Dichos sistemas eléctricos a su vez están interconectados en muchos casos a diferentes equipos provenientes de los laboratorios de los galpones vecinos, galpones de mantenimiento y del mismo edificio de la escuela.

Entre los sistemas interconectados a las unidades de aire acondicionado se encuentran sistemas de alumbrado tanto del edificio de la escuela como de los galpones de laboratorio, máquinas de herramienta, unidades de aire acondicionado de ventana y equipos de oficina. Estos equipos generan cargas inductivas (en el caso de las unidades de aire acondicionado de ventana y máquinas de herramienta) y resistivas (en el caso del alumbrado) diferentes que a su vez producen factores de potencia diferentes. Agregado a esto, los equipos mencionados anteriormente funcionan horarios diferentes al horario establecido para la operación de las unidades de aire acondicionado automatizadas de por lo que la medición del consumo eléctrico sería una tarea sujeta a una revisión y reestructuración del cableado del sistema eléctrico del Edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Un ejemplo es el caso de la iluminación de la planta baja y las unidades de aire acondicionado de la azotea pertenecientes a los salones 204,206 y 202. En este caso la línea presenta corrientes de retroalimentación (el cableado está relacionado con el galpón de laboratorios en la parte este del edificio) por lo que al apagar las luces o la unidad aún existen valores tanto de diferencia de potencial como de intensidad de corriente en la línea. En otros casos, como el sistema de iluminación de la planta baja esta cableado a otros sistemas como enchufes de toma de corriente en oficinas o máquinas de los laboratorios de la escuela. Incluso existe un segundo cableado de iluminación en el edificio que no fue removido durante remodelaciones de la escuela años antes y todavía se encuentra conectado a los circuitos de iluminación y aires acondicionados del edificio.

Para obtener una lectura representativa del consumo eléctrico asociado a las unidades de aire acondicionado es necesario utilizar un PLC con capacidades de registro conectado a medidores de intensidad y factor de potencia individuales a cada unidad de aire acondicionado automatizada con el fin de registrar su consumo dentro del horario de trabajo de las unidades. Ahora que el encendido de las unidades automatizadas depende también de la temperatura del espacio estas ya no se encuentran encendidas constantemente sino solamente en los intervalos de tiempo que les toma a la unidades climatizar el aire del los espacios a las temperaturas solicitadas por lo que la medición de consumo depende también de cuantos arranques/paros suceden durante de la jornada de actividad del edificio y del tiempo de operación en cada arranque. El tiempo de operación por arranque depende de la

carga térmica en el espacio dependiente de la hora del día, temperatura externa y el número de personas dentro del espacio entre otros factores. La necesidad de medición de consumo eléctrico en cada unidad por separado se debe a que la alimentación de las unidades de aire acondicionado automatizadas no proviene del sistema eléctrico del edificio de la escuela sino en gran parte de los galpones de laboratorios vecinos o en algunos casos proviene de ambos por lo que la medición centralizada a partir del consumo de el edificio de la escuela no sería una buena alternativa.

La comparación del consumo eléctrico antes y después de la instalación del sistema en el Edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV a partir de las facturas de suministro eléctrico tampoco es una alternativa factible ya que la facturación no se realiza por cada edificio de la Ciudad Universitaria individualmente sino que es facturada como un total de todo el consumo de la universidad según informaciones del personal administrativo y de el Consejo de Preservación y Desarrollo de la Universidad Central de Venezuela (COPRED).

COMENTARIOS FINALES:

La instalación del sistema de automatización propuesto fue satisfactoria con una inversión aproximada de 8 millones de Bolívares (ver tabla #14), tanto las unidades aire acondicionado compactas de techo y fraccionadas como la luminarias del las áreas comunes controladas responden a todos los comandos del PLC y este a su vez es accesible inalámbricamente desde las computadoras del edificio que disponen de el programa de monitoreo y una tarjeta de red inalámbrica.

Los espacios del edificio controlados presentan condiciones de temperatura confortables durante el horario de funcionamiento y responden al horario establecido para su operación.

Debido a la automatización de estos sistemas ha sido posible la disociación del personal administrativo, limpieza y seguridad de las actividades operación y supervisión de la mayoría de las unidades de climatización y luminarias del edificio.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para el desarrollo futuros trabajos de grado instalar en al menos en un computador de la Red del PLC una interface hombre-máquina o Sistema Control y Adquisición de Datos que permita recoger y almacenar información sobre la operación del edificio con el fin de poder optimizar los horarios y el funcionamiento de las unidades de aire acondicionado según las condiciones de operación del edificio.

Para funcionar en conjunto con esta interface es necesaria la instalación de sensores de Ocupación para los espacios del edificio de manera que se pueda tener un registro y una tendencia de las horas de ocupación reales de cada espacio.

Además se recomienda, luego de la reestructuración y mantenimiento del cableado eléctrico del edificio la instalación de toroides o vatímetros en las unidades de aire acondicionado que permitan monitorear directamente el consumo eléctrico del edificio por el Sistema de Adquisición de Datos y lograr evaluar cualitativamente los ahorros conseguidos de esta manera.

Por último es recomendable realizar el mantenimiento, actualización y repotenciación de las unidades de aire acondicionado de ventana instaladas en la planta baja de manera de que puedan ser adicionadas al sistema de control del edificio para lograr mayores ahorros energéticos

BIBLIOGRAFÍA

ANDRE, S. (2004) Problemas Resueltos con Autómatas Programables, 3ra ed.
Editorial Parainfo, Madrid.

Arias, F. (2004). El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica. 4ta ed. Caracas. Episteme.

BECERRA, Jhonatan (2007). Trabajo de Grado: Automatización, control y supervisión remota del sistema central de aire acondicionado (agua helada) para un edificio. U.C.V Ing. Mecánica.

CARBONELL, Elkin.(2000) Trabajo de Grado: Automatización de los sistemas de aire acondicionado e iluminación de una empresa de cosméticos . U.C.V. Ing. Mecánica

HUGH, Jack (2005). Automating Manufacturing Systems with PLCs. Claymore Engineers. 4ta Ed.

MACÍAS, Javier (2002) .Trabajo de Grado: Automatización del sistema de aire acondicionado de Metrópolis Shopping Center. U.C.V. Ing. Mecánica

MYER, Kutz (2006) Mechanical Engineer's Handbook. 3ra Ed. John Wiley & Sons.

PIEDRAFITA, R. (2004) Ingeniería de la Automatización Industrial, 3ra ed , Madrid. Editorial Alfaomega.

WANG, S. (2003) Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, 2da ed, New York, Editorial McGraw-Hill.