



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

**AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA
DE CLIMATIZACIÓN CON PLC.**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

PRESENTA:

ROGER VALDÉS FERNÁNDEZ

DIRECTORES DE TESIS:

M.C. PEDRO FRANCISCO HUERTA GONZÁLEZ

M.C. IVONE CECILIA TORRES RODRÍGUEZ



MÉXICO, D.F, MAYO, 2012

Resumen

En las últimas décadas el control automatizado se ha desarrollado de manera acelerada, abarcando prácticamente todos los sectores. El presente trabajo se realizó en colaboración con el Instituto Central de Investigaciones Digitales, ubicado en Ciudad de La Habana, Cuba, una importante empresa del sector de la automatización y relacionada a las investigaciones médicas.

En este proyecto se desarrolla una propuesta de automatización utilizando un Controlador Lógico Programable (PLC) para un sistema de aire acondicionado de esta institución. Para ello se realizan estudios psicrométricos del aire y estudios sobre las tecnologías comercialmente disponibles de PLC. Además, se analiza el sistema que se pretende automatizar incluyendo cada uno de sus componentes. El diseño del sistema incluye un panel de control y un panel de fuerza, para los cuales se elaboraron los diagramas de interconexión de los diferentes elementos que los conforman. Se incluye además la programación y configuración del controlador lógico programable y de la interfaz hombre máquina para llevar a cabo las labores de control y monitoreo de este sistema en particular. Para finalizar se realizó un análisis de costos del proyecto, ya que es de vital importancia a la hora de llevar a la práctica el sistema.

Dedicatoria

A Pedro Ivo

A mis padres

Agradecimientos

A mis padres,

A ustedes les dedico estas palabras como un pequeño reconocimiento al esfuerzo y al apoyo incondicional que me han brindado en el transcurso de mi vida y mis estudios. Gracias por su confianza, su cariño y su eterno sacrificio y dedicación. Gracias por guiarme siempre, pero sobretodo por permitirme tomar mis propias decisiones.

A mi esposa,

Toda mi gratitud por ayudarme cada día a seguir adelante y a culminar una etapa más de mi vida. Gracias por tu apoyo, tu inagotable paciencia y por esas palabras de ánimo y esa sonrisa alentadora en los malos momentos. Gracias por compartir tu vida conmigo y por ayudarme a llegar hasta aquí.

A mis hermanos,

Por ser mis mejores amigos y porque me hacen saber que nunca estaré solo. Gracias por estar siempre ahí.

A mis amigos,

Por la ayuda, el apoyo y por tener siempre una palabra de aliento cuando la he necesitado, a pesar de estar lejos.

A toda mi familia,

Por apoyarme siempre, por el esfuerzo y por depositar su confianza en mí. Gracias a todos por el cariño y el amor que me dan.

Índice de Contenido

Introducción	1
Capítulo I. Generalidades sobre Aire Acondicionado	6
I.1 Aire Acondicionado.....	7
I.1.1 Principales usos del aire acondicionado.....	8
I.2 Psicrometría.....	9
I.2.1 Propiedades del Aire.....	9
I.2.2 Propiedades del Vapor de Agua (Humedad).....	11
I.2.3 Humedad Relativa.....	12
I.2.4 Humedad Específica.....	13
I.2.5 Temperatura de Punto de Rocío.....	13
I.2.6 Temperatura de Bulbo Seco.....	14
I.2.7 Temperatura de Bulbo Húmedo.....	14
I.2.8 Carta psicrométricas.....	14
I.3 Zona de Confort Humano.....	20
I.4 Sistemas de Aire Acondicionado.....	23
I.4.1 Sistemas de Expansión Directa.....	23
I.4.2 Sistemas Todo – Agua.....	25
I.4.3 Sistemas Todo – Aire.....	26
I.4.4 Sistemas Aire – Agua.....	30
Capítulo II. Controladores Lógicos Programables	32
II.1 Generalidades sobre PLC.....	33
II.1.1 Funciones Básicas de los PLCs.....	35
II.1.2 Nuevas Funciones de los PLCs.....	35
II.2 Controlador Lógico Programable.....	36
II.2.1 Estructura Interna.....	37
II.2.2 Funciones Generales de las Secciones Internas.....	38
II.3 Funcionamiento de un Controlador Lógico Programable.....	42
II.3.1 Lectura de las Entradas.....	43
II.3.2 Ejecución del Programa de Control.....	43
II.3.3 Escritura sobre las Salidas.....	44
II.3.4 Tareas Internas.....	45
II.4 Programación del Controlador Lógico Programable.....	45
II.4.1 Lenguajes de Programación.....	46
II.5 Leyes de Control.....	50
II.5.1 Control Todo-Nada (On-Off).....	50
II.5.2 Sistemas de Control Moderno.....	51

II.5.3 Ley de Control PID.....	51
II.5.3.1 Control Proporcional.....	52
II.5.3.2 Control Integral.....	54
II.5.3.3 Control Derivativo.....	55
II.5.4 Criterio de Selección de la Ley de Control para Temperatura y Humedad Relativa.....	57
II.6 Diseño de un Sistema con PLC.....	59
II.7 Campos de Aplicación de los PLCs.....	60
II.8 Ventajas y Desventajas de los PLCs.....	61
Capítulo III. Unidad Manejadora de Aire.....	63
III.1 Unidad Manejadora de Aire.....	64
III.2 Componentes de la Unidad Manejadora de Aire.....	65
III.2.1 Carcasa.....	65
III.2.2 Sección de ventilación (grupo motor-ventilador).....	67
III.2.3 Sección de Filtración.....	68
III.2.4 Sección de Baterías.....	70
III.2.5 Silenciadores.....	71
III.2.6 Caja de Mezclas.....	72
III.2.7 Humificadores y Deshumificadores.....	73
III.3 Funcionamiento General del Sistema de Climatización.....	74
III.4 Unidad Manejadora de Aire “TECHNIVEL”.....	79
Capítulo IV. Ingeniería para la Automatización del Sistema de Climatización.....	80
IV.1 Filosofía de Operación.....	81
IV.1.1 Control Temperatura y Humedad Relativa.....	81
IV.1.2 Sistema de Movimiento, Enfriamiento y Filtración de Aire.....	82
IV.1.3 Sistema de Control y Monitoreo.....	83
IV.2 Instrumentos del Sistema.....	83
IV.2.1 Elementos Primarios de Medición.....	83
IV.2.1.1 Transmisor de Temperatura y Humedad Relativa.....	83
IV.2.1.2 Interruptor de Presión Diferencial de Aire.....	85
IV.2.1.3 Interruptor de Presión Diferencial de Agua.....	86
IV.2.1.4 Interruptor de Flujo de Aire.....	87
IV.2.2 Elementos de Acción Final.....	88
IV.2.2.1 Válvula de Tres Vías.....	88
IV.2.2.2 Actuador para Válvula de Tres Vías.....	90
IV.2.2.3 Válvula de Corriente Eléctrica.....	91
IV.3 Controlador Lógico Programable.....	92
IV.3.1 Características Principales del PLC.....	93
IV.4 Diseño de los Diagramas de Conexiones para Paneles de Control y Fuerza del Sistema.....	94
IV.4.1 Listado de Entrada/Salida del Sistema.....	94
IV.4.2 Diseño de los Diagramas de Conexiones para Panel de Control.....	95

IV.4.2.1 Diseño del Diagrama General de Conexiones de Alimentación del Panel de Control.....	96
IV.4.2.2 Diseño del Diagramas de Conexiones para Entradas/Salidas Digitales.....	101
IV.4.2.3 Diseño del Diagramas de Conexiones para Entradas/Salidas Analógicas.....	103
IV.4.3 Diseño de los Diagramas de Conexiones para Panel de Fuerza.....	106
IV.5 Configuración del Sistema de Control (PLC).....	109
IV.5.1 Introducción al Software de configuración KGL_WE.....	109
IV.5.2 Secuencia de Operación del Sistema de Climatización.....	110
IV.5.3 Creación de un Nuevo Proyecto en KGL_WE.....	112
IV.5.4 Configuración del Hardware.....	113
IV.6 Configuración del Sistema de Monitoreo o Interfaz Gráfica (HMI).....	118
Capítulo V. Análisis Económico del Proyecto	122
V.1 Costo de la Elaboración del Proyecto.....	123
V.2 Precio de la inversión.....	123
Capítulo VI. Conclusiones y Trabajos Futuros	126
VI.1 Conclusiones.....	127
VI.2 Trabajos Futuros.....	129
Bibliografía	135
Anexos	138

Índice de Figuras

Figura I.1	Carta psicrométrica temperaturas y presiones ambiente (al nivel del mar).....	16
Figura I.2	Líneas de temperatura de bulbo seco [°C].....	17
Figura I.3	Líneas de temperatura de bulbo húmedo [°C].....	18
Figura I.4	Líneas de temperatura punto de rocío [°C].....	19
Figura I.5	Líneas de humedad relativa [%].....	20
Figura I.6	Carta Psicrométrica mostrando la zona de confort.....	22
Figura I.7	Sistema de Expansión Directa.....	24
Figura I.8	Sistema Todo-Agua.....	25
Figura I.9	Local climatizado con un sistema Todo-Aire.....	27
Figura I.10	Sistema Todo-Aire de Zona Única.....	28
Figura I.11	Sistema Todo-Aire de Múltiples Zonas.....	29
Figura I.12	Sistema Aire-Agua.....	30
Figura II.1	Esquema general de un sistema automatizado.....	34
Figura II.2	Partes principales de un PLC.....	38
Figura II.3	Comunicación de un PLC con un PC.....	41
Figura II.4	Arquitectura interna de un PLC.....	42
Figura II.5	Símbolo lógico empleado para programación en lenguaje de plano de funciones.....	48
Figura II.6	Algunos símbolos lógicos.....	48
Figura II.7	Diagrama de bloques de un control PID.....	52
Figura II.8	Respuesta temporal de un controlador con acción proporcional.....	53
Figura II.9	Respuesta temporal de un controlador con acción proporcional e integral.....	55
Figura II.10	Respuesta temporal de un controlador con acción proporcional, integral y derivativa.....	56
Figura III.1	Configuración interna de la carcasa.....	66
Figura III.2	Ventilador Centrífugo de Doble Aspiración.....	68
Figura III.3	Conjunto moto-ventilador de una UMA.....	68
Figura III.4	Batería de enfriamiento alimentada por agua.....	71
Figura III.5	Silenciador instalado en una sección de un conducto de aire.....	72
Figura III.6	Sección de mezcla de una UMA.....	73
Figura III.7	Espacio climatizado con sistema <i>Todo Aire</i>	74
Figura III.8	Esquema de una UMA.....	75
Figura III.9	Diagrama de funcionamiento general del sistema.....	78
Figura IV.1	Distribución de los elementos que componen en panel de	

	control.....	96
Figura IV.2	Diagrama principal de alimentación eléctrica.....	97
Figura IV.3	a) Diagrama de conexiones para buses de entrada/salida en corriente directa.....	100
	b) Diagrama de conexiones para buses de entrada/salida en corriente alterna.....	101
Figura IV.4	Diagrama de conexiones del PLC para entradas/salidas digitales.....	102
Figura IV.5	Diagrama de conexiones para entradas analógicas.....	104
Figura IV.6	Diagrama de conexiones para salidas analógicas.....	105
Figura IV.7	Diagrama principal de conexiones eléctricas del Panel de Fuerza.....	107
Figura IV.8	Diagrama de conexión eléctrica trifásica del Banco de Resistencias.....	108
Figura IV.9	Secuencia de operación del controlador.....	111
Figura IV.10	Ventana del Software KGL_WE para crear un nuevo proyecto.....	112
Figura IV.11	Ventana del Software KGL_WE para seleccionar propiedades del proyecto.....	113
Figura IV.12	Ventana del Software KGL_WE de programación y configuración del PLC.....	113
Figura IV.13	a) Lazo de Control de Temperatura.....	114
	b) Lazo de Control de Humedad Relativa.....	114
Figura IV.14	Configuración de los canales de entradas/salidas analógica.....	115
Figura IV.15	Configuración de la función de Auto Ajuste de los lazos PID.....	116
Figura IV.16	Configuración de los Lazos PID.....	117
Figura IV.17	Sección de programa para ejecutar Auto Ajuste y algoritmo PID de Temperatura.....	117
Figura IV.18	Pantalla principal de la HMI (Pantalla No.1).....	119
Figura IV.19	Pantalla para mostrar valores actuales de variables de proceso en la HMI (Pantalla No.2).....	119
Figura IV.20	Pantalla para ajustar los valores de consigna de las variables de proceso en la HMI (Pantalla No.3).....	120
Figura IV.21	Ventana de configuración de alarmas de la HMI.....	121
Figura VI.1	Diagrama de Tuberías e Instrumentación del sistema incluyendo un trabajo futuro.....	134

Índice de Tablas

Tabla I.1	Gases que componen el aire en la atmósfera.....	10
Tabla I.2	Emisión de calor del cuerpo humano (adulto masculino) en relación con la actividad que realiza.....	21
Tabla II.1	Equivalencias instrucciones-contactos.....	47
Tabla III.1	Relación de partículas en el aire y filtros que las capturan...	70
Tabla IV.1	Listado de señales Entrada/Salida para control del sistema.....	95
Tabla IV.2	Relación de consumos eléctricos para dimensionar la Fuente de Alimentación.....	99
Tabla IV.3.	Relación de elementos para entradas/salidas digitales.....	103
Tabla IV.4.	Relación de elementos para conexión principal del Panel de Fuerza.....	106
Tabla IV.5.	Relación de elementos para conexión trifásica del Banco de Resistencias.....	109
Tabla V.1	Relación de costos de elaboración del proyecto.....	123
Tabla V.2	Relación de costos de dispositivos que intervienen en el proyecto.....	124
Tabla V.3	Relación de costos de mano de obra.....	125

Introducción

Desde sus orígenes, el ser humano ha buscado la manera de adaptarse al medio en el cual habita, ideando formas de aliviar las inclemencias del medio, que van desde abrigos de piel, fogatas, abanicos hasta llegar a desarrollar avanzados y complejos sistemas electromecánicos de climatización.

Sin importar el tipo de actividad que una persona realice, una condición muy importante para su buen desenvolvimiento es que dicha persona se encuentre en un estado de comodidad térmico con el medio ambiente que le rodea, de lo contrario, su capacidad para realizar cualquier tipo de trabajo se reduciría notablemente. Sin embargo, la comodidad no se obtiene con facilidad debido a que las necesidades del cuerpo humano y las condiciones del clima no suelen ser compatibles, por lo que es necesario luchar constantemente contra los factores que causan incomodidad y malestar como son la temperatura y la humedad relativa del ambiente.

El constante avance tecnológico de las últimas décadas ha posibilitado la aparición y el desarrollo de los sistemas de acondicionamiento de aire. Cada vez es más habitual que los hogares y las oficinas tengan aparatos de aire acondicionado para refrigerar estancias específicas o generales. De esta forma, el aire acondicionado se ha convertido en un equipo que, aunque era inexistente hace algunos años, hoy en día parece que no se pueda vivir sin él, especialmente en zonas con condiciones de temperatura y humedad por encima o por debajo de los valores medios.

El control, al igual que lograr cambiar las condiciones ambientales, siempre ha sido anhelado en la historia de la humanidad. El actuar sobre un objeto para mantener o cambiar su estado según un valor deseado, no es tarea fácil. Las primeras formas de control se realizaron con dispositivos mecánicos, luego aparecieron los reguladores neumáticos con ley de control Proporcional, Integral, Derivativo (PID) que presentaban problemas con retardo de tiempo. Unos años después comenzaron a desarrollarse los reguladores eléctricos, que tenían mejor precisión y trabajaban con señales eléctricas. Más adelante comenzó a utilizarse de la Computadora Persona (PC) para el control, hasta que comenzaron a desarrollarse los primeros Controladores Lógicos Programables (PLC), que resultaban más económicos que las PCs y brindaban ventajas adicionales.

En la actualidad la sociedad en general obtiene logros cada vez más significativos, producto del mismo desarrollo tecnológico. No es un secreto para nadie que esto

Introducción

es el resultado de la cooperación e integración que existen entre un sin número de especialidades que se acoplan formando un todo capaz de dejar perplejo aún al más intrépido de los pensamientos, en esto la automatización cobra cada vez más protagonismo, resultando prácticamente imposible encontrar un sistema o proceso donde esta no esté presente. Los sistemas de acondicionamiento de aire no son la excepción. Este trabajo está orientado precisamente a la integración de diferentes componentes para llevar a cabo la automatización de un sistema de climatización central usando un PLC.

Justificación

El presente proyecto se desarrolla en colaboración con el Instituto Central de Investigaciones Digitales (ICID), localizado en Ciudad de La Habana, Cuba. Esta institución es una de las empresas más modernas y experimentadas en el tema de la electrónica médica en Cuba. De propiedad estatal, fue fundado en 1969, cuenta actualmente con facilidades de producción (15800 m²) que permiten la obtención de equipos médicos modernos de alta calidad. El ICID tiene personal maduro y altamente calificado entre los que se encuentran más de 200 investigadores e ingenieros. La figura siguiente es una imagen del edificio donde se localiza el ICID.



Fachada del edificio del ICID

Como ya se mencionó, dicha institución está muy ligada a las investigaciones relacionadas con el campo de la salud pública. Durante los últimos 50 años, el gobierno de la isla ha destinado innumerables recursos y esfuerzos para mejorar

en todos los aspectos relacionados con este sector. Como parte de esta política se están llevando a cabo tareas para automatizar las instalaciones destinadas a la investigación y desarrollo de las ramas relacionadas, lo cual mejoraría notablemente las condiciones de trabajo y la capacidad productiva.

Cuba es una isla del Caribe, donde las temperaturas pueden llegar a alcanzar los 37 grados Celsius y la humedad relativa puede ser de un 98%. Es evidente que en un sitio con tales condiciones se hace necesaria la instalación de sistemas para acondicionar el ambiente. El ICID cuenta con varios de estos sistemas, este trabajo se enfoca solo en uno, que se encuentra instalado en el comedor de la institución y que en diversas ocasiones se emplea como salón de actividades. Los instrumentos, equipos y especificaciones técnicas empleadas en este trabajo han sido facilitados por el ICID.

Para el desarrollo de este proyecto se han planteado los siguientes objetivos:

Objetivo General

Realizar un diseño para la automatización con PLC del sistema de climatización del comedor del ICID.

Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de la psicrometría del aire y de la zona de confort para conocer las variables sobre las que se debe actuar y los límites que se deben establecer para las mismas.
- Describir de manera general los PLCs comercialmente disponibles, como parte elemental del sistema de automatización para elegir un controlador conveniente para el proyecto
- Describir el funcionamiento general de la unidad manejadora de aire, indicando claramente cada uno de los componentes que la integran para conocer la ingeniería básica sobre la cual se pretende trabajar.
- Realizar una descripción de los instrumentos y equipos utilizados en el proyecto de automatización para integrarlos de manera correcta al diseño que se realizará.
- Elaborar los diagramas de interconexión necesarios correspondientes tanto al Panel de Control como al Panel de Fuerza como parte del diseño a realizar y para lograr un proyecto fácil de llevar a la práctica.
- Programar y configurar el PLC y la Interfaz Hombre Máquina (HMI) para llevar a cabo el control y monitoreo del sistema.

El presente trabajo se ha dividido en cinco capítulos para lograr cumplir con los objetivos antes planteados. Una pequeña síntesis de los mismos se muestra a continuación.

Capítulo I. Generalidades sobre aire acondicionado.

En este capítulo se hace un estudio de la psicrometría del aire. Se estudian las principales propiedades del aire y se hace referencia a la zona de confort humana. Se realiza una descripción general de los diferentes tipos sistemas de aire acondicionado y de su funcionamiento, con mayor énfasis en el sistema Todo-Aire.

Capítulo II. Controladores lógicos programables.

Este capítulo está dedicado a la descripción general de los PLCs que se encuentran comercialmente disponibles. Se describen sus partes, su funcionamiento y los tipos de lenguajes de programación más comúnmente utilizados. En este capítulo también se brinda información de los beneficios que son capaces de ofrecer dichos equipos y para terminar se explican los algoritmos de control que generalmente se emplean.

Capítulo III. Unidad manejadora de aire.

En este capítulo se describe la unidad manejadora de aire (UMA), sus componentes y su funcionamiento general. También se puede encontrar una descripción general de funcionamiento de un sistema que incluye una UMA, similar a la empleada en este proyecto. Para terminar se resumen las características técnicas de la UMA que utiliza el sistema que se pretende automatizar.

Capítulo IV. Ingeniería para la automatización del sistema de climatización.

En este capítulo se propone un diseño para llevar a cabo la automatización del sistema. Para ello primeramente se plantea la filosofía de operación del sistema, y se describen los instrumentos y demás dispositivos a emplear. Así mismo se elaboran los diferentes diagramas de interconexión para lograr el diseño del panel de control y del panel de fuerza del sistema. Por último se incluye también la programación y configuración tanto del PLC como de la HMI para controlar y monitorear las diferentes variables de proceso.

Capítulo V. Análisis económico del proyecto.

Se realiza una cotización del proyecto incluyendo los costos de elaboración, de mano de obra y de los materiales, equipos y dispositivos empleados.

Capítulo VI. Conclusiones y trabajos futuros.

En este capítulo se dan las conclusiones del trabajo y, de manera general, se hace referencia al cumplimiento de los objetivos establecidos. En este mismo capítulo se harán recomendaciones para la implementación de trabajos futuros que puedan mejorar aún más el funcionamiento del sistema en cuestión.

Capítulo I

Generalidades sobre Aire Acondicionado

En la actualidad, las tecnologías empleadas para la climatización de salas se han desarrollado de manera tal que su campo de aplicación es muy amplio y extenso, por lo que, alcanzar un dominio en el conocimiento de esta técnica requiere una gran inversión de tiempo y un estudio minucioso de los diferentes temas relacionados con este aspecto. En el presente capítulo se presenta de forma resumida las propiedades básicas del aire, específicamente aquellas que se modifican para lograr acondicionar dicho aire. Además se establecerán los parámetros de confort para el ser humano y se explicarán los diferentes tipos de sistemas utilizados para el tratamiento del aire.

I.1 Aire Acondicionado

El término aire acondicionado fue asociado mucho tiempo solamente con el enfriamiento del aire, ahora esto ha cambiado, y la definición de aire acondicionado se ha ampliado para incluir todo lo concerniente al control de temperatura, grado de humedad, limpieza, calidad y circulación de aire, según lo requieran los ocupantes del espacio climatizado; aunque no necesariamente un proceso de acondicionamiento de aire debe incluir cada uno de estos elementos para ser considerado como tal.

El hombre siempre ha tratado de controlar las condiciones ambientales de los espacios de uso común. Así por ejemplo, el uso de calor para elevar la temperatura, de vapor para proveer humedad y de ventilación a través de una chimenea para mantener la calidad del aire fueron comunes durante muchos años. Con el tiempo y el desarrollo tecnológico, cada uno de estos componentes se ha mejorado para ofrecer un control eficiente de la temperatura, contenido de humedad y calidad del aire. Ahora existen mejores edificios, otras fuentes de calor, refrigeradores para ofrecer enfriamiento, ventiladores para mover el aire, filtros y equipos de control para realizar un control adecuado de la temperatura y de los niveles de humedad.

Como se plantea en [1], se puede decir entonces que el aire acondicionado es el nombre que se le da al aire que ha sido previamente circulado a través de diferentes equipos de tratamiento de aire, con el fin de llevarlo hasta las condiciones de temperatura y humedad que se deseen; siendo dichas condiciones diferentes a las iniciales.

Un sistema de aire acondicionado consiste, teóricamente, en un conjunto de

equipos o elementos que proporcionan aire con las condiciones antes mencionadas, manteniendo el control de sus propiedades (temperatura y humedad principalmente), y con independencia de las condiciones climáticas, según [1].

El aire acondicionado es esencial para nuestra salud y bienestar, ya sea en la casa, el trabajo, al estar de compras o viajando de un lugar a otro. Además de ser tan importante para el ser humano, el aire acondicionado es crucial en muchos procesos industriales y de manufacturación. Los productos de ingeniería de alta precisión a menudo deben de elaborarse bajo estrictas condiciones controladas, que solo pueden lograrse mediante el acondicionamiento del ambiente en el que se realizan.

I.1.1 Principales usos del aire acondicionado

El manual de la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) contiene los diversos usos del aire acondicionado. Como se lista a continuación, algunos ejemplos mencionados en [3] muestran la versatilidad que este ha alcanzado en nuestros días.

1. Acondicionamiento de aire para confort

- Residencias
- Tiendas de Autoservicio
- Edificios comerciales y públicos
- Salones para actividades y asambleas
- Instalaciones Educativas y Sanitarias
- Transportación (terrestre, aérea o marítima)

2. Acondicionamiento de aire para instalaciones industriales o especializadas

- Laboratorios de investigación
- Instalaciones para prueba de maquinarias o equipos
- Salas blancas
- Áreas para Sistemas de Procesamiento de Datos
- Industria Textil
- Áreas para trabajo y almacenamiento de material fotográfico
- Control ambiental para animales y plantas
- Área para almacenamiento de productos alimenticios

I.2 Psicrometría

La psicrometría se define como la medición del contenido de humedad del aire. Ampliando la definición a términos técnicos, psicrometría es la ciencia que involucra las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano. Además, se pueden incluir los métodos para controlar las propiedades térmicas del aire húmedo. Lo anterior, se puede llevar a cabo a través del uso de tablas psicrométricas o de la carta psicrométrica, que se pueden encontrar en [2].

Las tablas psicrométricas ofrecen una gran precisión, ya que sus valores son de hasta cuatro decimales; sin embargo, en la mayoría de los casos, esto no es necesario; y con el uso de la carta psicrométrica, se puede ahorrar mucho tiempo y cálculos.

I.2.1 Propiedades del Aire

El aire es una mezcla de gases incolora, inodora e insípida que rodea a la tierra. Este aire que envuelve a la tierra se conoce como atmósfera. Se extiende hasta una altura de aproximadamente 645 Km, y se divide en varias capas. La capa más cercana a la tierra se llama tropósfera, y va desde el nivel del mar hasta los 15 Km, según la referencia [2].

El aire, no es un vapor saturado que está cercano a temperaturas donde pueda ser condensado. Como se puede leer en [2], este es siempre un gas altamente sobrecalentado, o precisamente, es una mezcla de gases altamente sobrecalentados.

Así, cuando calentamos o enfriamos aire seco, solamente estamos agregando o quitando calor sensible. Podemos enfriar o calentar el aire, limpiarlo y moverlo, pero esto no cambia significativamente sus propiedades; ya que, los relativamente pequeños cambios de temperatura que le hagamos, sólo causan pequeñísimos cambios en el volumen y la densidad.

Si el aire seco se calienta, se expande; y su densidad disminuye, cuando la presión permanece constante. Inversamente, si se enfría el aire seco, aumenta su densidad. Aún más, las temperaturas, densidades, volúmenes y presiones, todas varían proporcionalmente.

El aire atmosférico es una mezcla de oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, hidrógeno, vapor de agua, y un porcentaje pequeño de gases raros como argón, neón, ozono, etc. Esta mezcla es sorprendentemente pesada. Su densidad (o peso por metro cúbico) varía, siendo mayor a nivel del mar (donde es comprimido por todo el aire encima del mismo). En la **Tabla I.1**, se muestran los porcentajes de estos gases, según la referencia [2], tanto en peso, como en volumen, para el aire seco (sin vapor de agua).

Tabla I.1 Gases que componen el aire en la atmósfera.

Nombre	Símbolo Químico	AIRE SECO	
		% en Peso	% en Volumen
Nitrógeno	N ₂	75.47	78.03
Oxígeno	O ₂	23.19	20.99
Dióxido de Carbono	CO ₂	0.04	0.03
Hidrógeno	H ₂	0.00	0.01
Otros Gases	---	1.30	0.94

En áreas congestionadas o industriales, también puede haber gases conteniendo azufre, carbono, plomo y ciertos ácidos.

Cada uno de estos gases que componen el aire, se comporta de acuerdo a la Ley de Dalton. Esta ley según la referencia [2], expone lo siguiente:

"La presión absoluta que ejerce una mezcla de gases, es igual a la suma de las presiones parciales de cada uno de los componentes que forman la mezcla."

Brevemente, esta ley nos dice que dos o más gases pueden ocupar el mismo espacio al mismo tiempo (de manera que forman una mezcla), y que cada uno actúa independientemente de los otros. Cada gas tiene su propia densidad, su propia presión, y cada uno responde a los cambios de volumen y temperatura de manera independiente, sin tener en cuenta uno al otro. La ecuación (I.1) corresponde a dicha Ley.

$$P_{abs} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \tag{I.1}$$

donde:

P_{abs} = Presión absoluta de la mezcla de gases [Pa]

P_1, P_2 y P_n = Presiones parciales de los gases que componen la mezcla [Pa]

Entre otras propiedades del aire se puede mencionar que tiene conductividad térmica, pero ésta es pobre. También se puede mencionar que, debido a que el aire tiene peso, se requiere energía para moverlo. Una vez en movimiento, el aire posee energía propia (cinética). La energía cinética del aire en movimiento, es igual a la mitad de su masa multiplicada por el cuadrado de su velocidad (midiéndose esta en metros por segundo).

Otras propiedades físicas del aire se definen a continuación y son importantes a tener en cuenta a la hora de acondicionar el aire de un espacio climatizado.

I.2.2 Propiedades del Vapor de Agua (Humedad)

La humedad es un término utilizado para describir la presencia de vapor de agua en el aire, ya sea a la intemperie, o dentro de un espacio, como se determina en [2]. Nuevamente, es importante destacar que la humedad está "en el aire", solamente en el sentido de que los dos, aire y vapor de agua, existen juntos en un espacio dado y en un mismo momento.

Por costumbre común, se dice que el aire contiene humedad, y es conveniente hacerlo así, en el entendido de que siempre recordemos que es meramente una manera de hablar, y que en realidad, los dos son independientes uno del otro, y que no responden de la misma manera a los cambios de condiciones, especialmente a los cambios de temperatura.

Como ya sabemos, dos terceras partes de la superficie de la tierra están cubiertas por agua: océanos, lagos y ríos, de las cuales se desprende el vapor de agua. Las nubes, también producto de esta evaporación, contribuyen a la humedad del ambiente al condensarse y precipitarse en forma de lluvia o nieve.

Todo lo anterior es lo que sucede a la intemperie. Dentro de un espacio cerrado (casa, edificio o fábrica) el vapor de agua puede provenir de la cocina, baño, máquinas, personas, etc. Así pues, la cantidad de humedad en el aire en un lugar y tiempo determinados, puede variar considerablemente. El vapor de agua es producido por el agua, a cualquier temperatura (aún por el hielo). El agua no necesita estar en ebullición, aunque sí lo está, el vapor de agua se produce con mayor rapidez.

Siguiendo la referencia [4], El aire, dependiendo de la temperatura a la que se encuentre, es capaz de aceptar cierta cantidad de vapor de agua. Para casos en los que esta cantidad no sea la máxima, se dice que este aire contiene un por

ciento específico de Humedad Relativa (término que se define más adelante). Por el contrario si tenemos una mezcla de aire, la cual contiene la máxima cantidad de humedad que esta puede aceptar, se dice que aire se encuentra en condiciones de saturación.

I.2.3 Humedad Relativa

La referencia [2] muestra que la humedad relativa (hr), es un término utilizado para expresar la cantidad de humedad en una muestra dada de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría, estando totalmente saturado y a la misma temperatura de la muestra. La humedad relativa se expresa en por ciento.

De acuerdo a la ASHRAE, una definición técnica de la hr , sería la relación de la fracción mol del vapor de agua presente en el aire, con la fracción mol del vapor de agua presente en el aire saturado, a la misma temperatura y presión.

La ecuación (I.2) expresa de manera matemática dicha relación

$$hr = \frac{m_v}{m_g} \tag{I.2}$$

donde:

hr = Humedad relativa [%]

m_v = Cantidad de humedad o densidad de vapor de agua contenida en el aire
[kg/m³]

m_g = Cantidad de humedad o densidad de vapor de agua máxima que puede
contener el aire [kg/m³]

De esta manera y para ejemplificar, si se determina que la humedad relativa de una habitación en particular es del 60% a una temperatura de 21 °C, esto significa que el aire aún puede aceptar un 40% más de humedad antes de llegar condiciones de saturación.

I.2.4 Humedad Específica

En la referencia bibliográfica [2] se plantea igualmente que la humedad específica, o también llamada relación de humedad (W), es la masa de vapor de agua en kilogramos por kilogramo de aire seco. La humedad específica, se refiere a la cantidad de humedad, que se requiere para saturar un kilogramo de aire seco, a una temperatura determinada. La expresión matemática de dicha definición se muestra en la ecuación (I.3).

$$W = \frac{m_v}{m_a} \tag{I.3}$$

donde:

W = Relación de humedad o Humedad específica

m_v = Masa de vapor de agua [kg]

m_a = Masa de aire seco [kg]

I.2.5 Temperatura de Punto de Rocío

Con referencia ahora a [1], el punto de rocío se define como: la temperatura a la cual el vapor de agua en el aire, comienza a condensarse. También es el punto de 100% de humedad. La humedad relativa de una muestra de aire, puede determinarse por su punto de rocío. Existen varios métodos para determinar la temperatura del punto de rocío.

Un método para determinar el punto de rocío con bastante precisión, es colocar un fluido volátil en un recipiente de metal brillante; después, se agita el fluido con un aspirador de aire. Un termómetro colocado dentro del fluido indicará la temperatura del fluido y del recipiente. Mientras se está agitando, debe observarse cuidadosamente la temperatura a la cual aparece una niebla por fuera del recipiente de metal. Esto indica la temperatura del punto de rocío. La niebla por fuera del recipiente, no es otra cosa que la humedad en el aire, que comienza a condensarse sobre el mismo, como se plantea en [2].

I.2.6 Temperatura de Bulbo Seco

El confort humano, dependen grandemente de la temperatura del aire. En el acondicionamiento de aire, la temperatura del aire indicada es normalmente la temperatura de bulbo seco (bs), tomada con el elemento sensor del termómetro en una condición seca. Como se resume en [1], esta es la temperatura medida por termómetros ordinarios, por ejemplo los que se pueden tener dentro de una casa.

Hasta este punto, todas las temperaturas a referidas han sido temperaturas de bulbo seco, tal como se leen en un termómetro ordinario, excepto donde se habla referido específicamente de la temperatura de punto de rocío.

I.2.7 Temperatura de Bulbo Húmedo

Básicamente, un termómetro de bulbo húmedo no es diferente de un termómetro ordinario, excepto que tiene una pequeña mecha o pedazo de tela alrededor del bulbo. Si esta mecha se humedece con agua limpia, la evaporación de esta agua disminuirá la lectura (temperatura) del termómetro. Esta temperatura se conoce como de bulbo húmedo (bh). Si el aire estuviese saturado con humedad (100% hr), la lectura de la temperatura en el termómetro de bulbo húmedo, sería la misma que la del termómetro de bulbo seco y a su vez la temperatura de punto de rocío también sería la misma. Sin embargo, la hr normalmente es menor de 100%, por lo que algo de la humedad de la mecha se evapora hacia el aire. Esta evaporación de la humedad de la mecha, provoca que la mecha y el bulbo del termómetro se enfríen, provocando una temperatura más baja que la del bulbo seco. Estos conceptos se pueden leer en [2].

Mientras más seco esté el aire, más rápida será la evaporación de la humedad de la mecha. Así que, la lectura de la temperatura del bulbo húmedo, varía de acuerdo a qué tan seco esté el aire. Por lo tanto, la temperatura de bulbo húmedo, es una indicación del calor total en el aire y la humedad.

I.2.8 Cartas psicrométricas

La referencia [5] establece que una carta psicrométrica, es una gráfica donde se muestran las propiedades del aire, tales como temperatura, humedad relativa, volumen, presión, etc. La carta psicrométrica resulta útil para visualizar el ciclo y la

evolución que realiza el aire en un sistema de acondicionamiento de aire, ya que da una imagen visual de los cambios que ocurren en las propiedades del aire al pasar a través de los equipos de aire acondicionado.

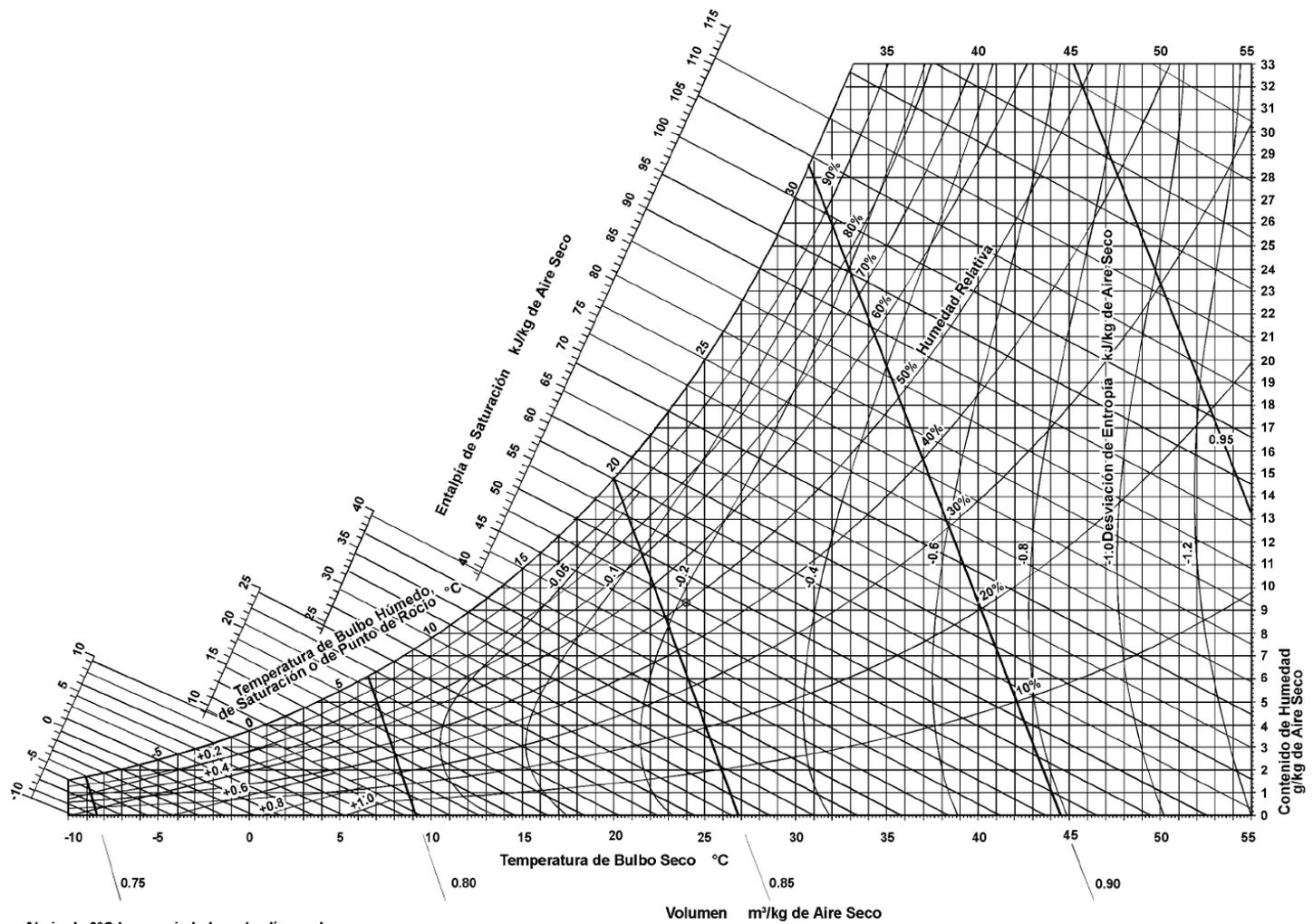
Existen tablas psicrométricas del aire las cuales recogen los valores de cada una de las propiedades del aire, en diferentes condiciones. Estos datos se han recopilado a través de incontables experimentos de laboratorio y de cálculos matemáticos, y son la base para lo que conocemos como la Carta psicrométrica. Aunque las tablas psicrométricas son precisas, el uso de la carta psicrométrica puede ahorrarnos tiempo y cálculos, en la mayoría de los casos donde no se requiere una extremada precisión.

Existen muchos tipos de cartas psicrométricas, cada una con sus propias ventajas. Algunas se hacen para el rango de bajas temperaturas, otras para el rango de media temperatura y una última para el rango de alta temperatura. A algunas de las cartas psicrométricas se les amplía su longitud y se recorta su altura; mientras que otras son más altas que anchas y otras tienen forma de triángulo. Todas tienen básicamente la misma función; y la carta a usar, deberá seleccionarse para el rango de temperaturas y el tipo de aplicación.

Según [2], la carta psicrométrica que se muestra en la **Figura I.1** está basada en la presión atmosférica, también llamada presión barométrica, de 101.3 kPa ó 760 mmHg. Esta carta cubre un rango de temperaturas de bulbo seco (bs) de -10 °C hasta 55 °C, y un rango de temperaturas de bulbo húmedo (bh) desde -10 °C hasta 35 °C.

En una carta psicrométrica se encuentran todas las propiedades del aire, como ya se mencionó anteriormente, conociendo dos de cualquiera de estas propiedades del aire, las otras pueden determinarse a partir de la carta. Las propiedades de mayor importancia se listan a continuación:

1. Temperatura de bulbo seco (bs).
2. Temperatura de bulbo húmedo (bh).
3. Temperatura de punto de rocío (pr).
4. Humedad relativa (hr).
5. Humedad absoluta (ha).
6. Entalpía (h).
7. Volumen específico.



Abajo de 0°C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpía son para el hielo

Figura I.1 Carta psicrométrica temperaturas y presiones ambiente (al nivel del mar).

A continuación se explican las líneas de mayor importancia, de la carta mostrada en la Figura I.1, para ubicar la zona de confort.

1. *Temperatura de Bulbo Seco*

En primer término, se tiene la temperatura de bulbo seco. Como se ha mencionado, y como se menciona en [5], es la temperatura medida con un termómetro ordinario. Esta escala es la horizontal (abscisa), en la parte baja de la carta, según se muestra en la **Figura I.2**. Las líneas que se extienden verticalmente, desde la parte baja hasta la parte alta de la carta, se llaman líneas de temperatura de bulbo seco constantes, o simplemente líneas de bulbo seco. Son constantes porque cualquier punto a lo largo de una de estas líneas, corresponde a la misma temperatura de bulbo seco indicada en la escala de la parte baja. Por ejemplo, en la línea de 40 °C, cualquier punto a lo largo de la misma, corresponde a la temperatura de bulbo seco de 40 °C.

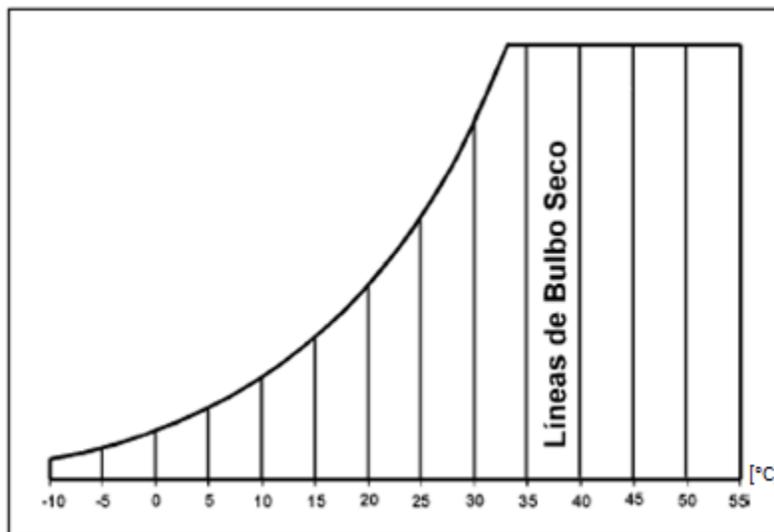


Figura I.2 Líneas de temperatura de bulbo seco [°C]

2. *Temperatura de Bulbo Húmedo*

Es la segunda propiedad del aire de que se muestra en la carta psicrométrica. Corresponde a la temperatura medida con un termómetro de bulbo húmedo. Como ya se explicó en la sección anterior, es la temperatura que resulta cuando se evapora el agua de la mecha, que cubre el bulbo de un termómetro ordinario.

La escala de temperaturas de bulbo húmedo, es la que se encuentra del lado superior izquierdo, en la parte curva de la carta psicrométrica, como se muestra en la **Figura I.3**. Las líneas de temperatura de bulbo húmedo constantes o líneas de bulbo húmedo, corren diagonalmente de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, en un ángulo de aproximadamente 30° con respecto a la dirección horizontal. También se les dice constantes, porque todos los puntos a lo largo de una de estas líneas, están a la misma temperatura de bulbo húmedo.

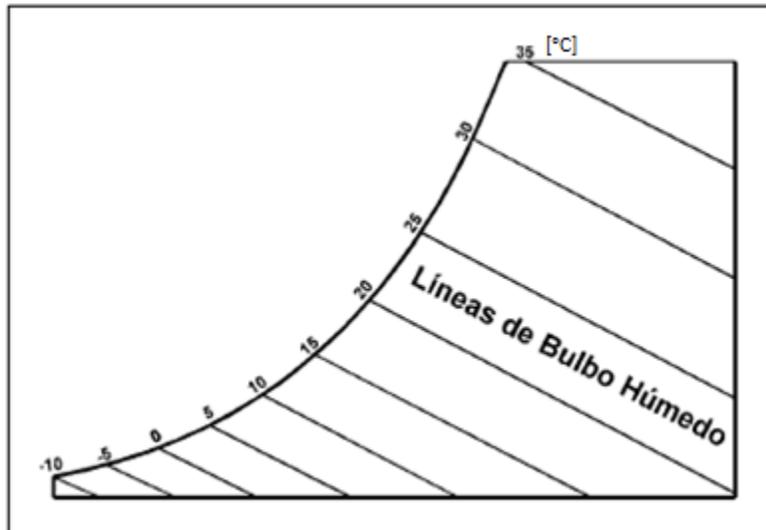


Figura I.3 Líneas de temperatura de bulbo húmedo [°C]

3. *Temperatura de Punto de Rocío*

Es otra propiedad de aire incluida en una carta psicrométrica. Esta es la temperatura a la cual se condensará la humedad sobre una superficie. La escala para las temperaturas de punto de rocío es idéntica que la escala para las temperaturas de bulbo húmedo; es decir, es la misma escala para ambas propiedades. Sin embargo, las líneas de la temperatura de punto de rocío, corren horizontalmente de izquierda a derecha, como se ilustra en la **Figura I.4**, no en forma diagonal como las de bulbo húmedo (ver **Figura I.3**). Cualquier punto sobre una línea de punto de rocío constante, corresponde a la temperatura de punto de rocío sobre la escala, en la línea curva de la carta. Todo lo anterior con referencia nuevamente a [5].

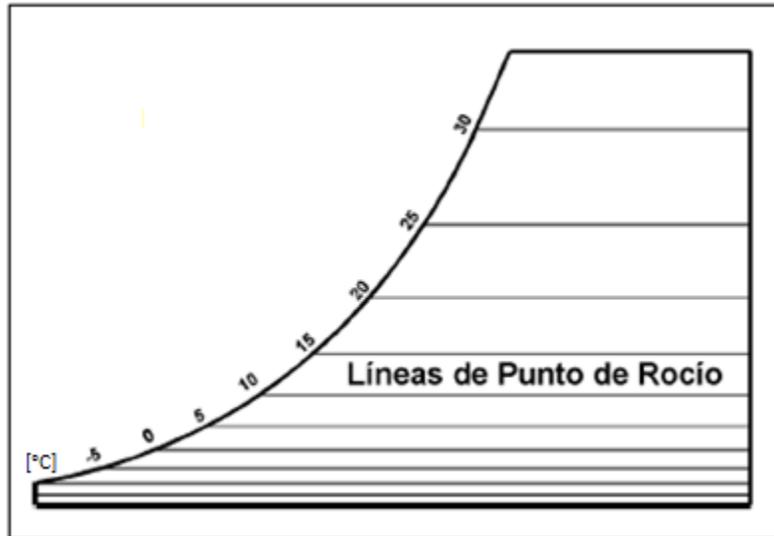


Figura I.4 Líneas de temperatura punto de rocío [°C]

4. *Humedad Relativa*

En una carta psicrométrica completa, las líneas de humedad relativa constante, son las líneas curvas que se extienden hacia arriba y hacia la derecha. Se expresan siempre en porciento, y este valor se indica sobre cada línea.

Como ya se hizo notar previamente, y como se ve en [5], la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de punto de rocío, comparten la misma escala en la línea curva a la izquierda de la carta. Puesto que la única condición donde la temperatura de bulbo húmedo y el punto de rocío, son la misma, es en condiciones de saturación; esta línea curva exterior, representa una condición de saturación o del 100% de humedad relativa. Por lo tanto, la línea de 100% de hr, es la misma que la escala de temperaturas de bulbo húmedo y de punto de rocío.

Las líneas de hr constante, disminuyen en valor al alejarse de la línea de saturación hacia abajo y hacia la derecha, como se ilustra en la **Figura I.5**.

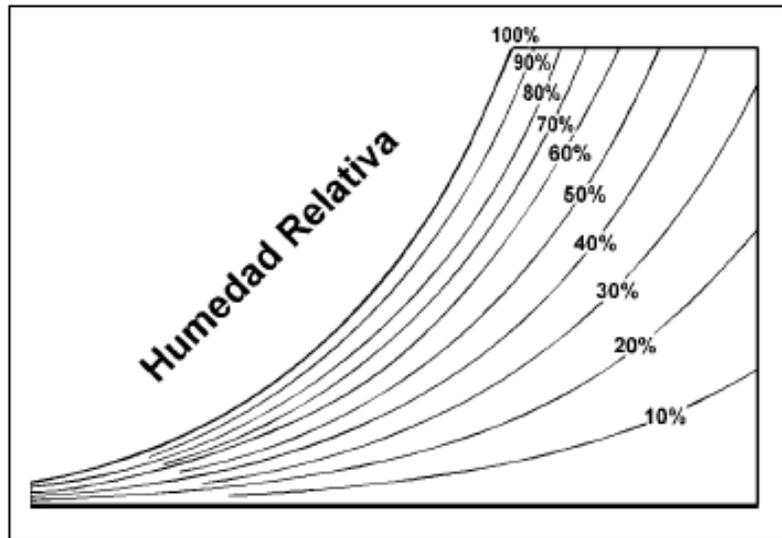


Figura I.5 Líneas de humedad relativa [%]

I.3 Zona de Confort Humano

El confort o la comodidad de una persona es la sensación de satisfacción física relacionada con el ambiente que lo rodea. El ser humano experimenta la sensación de comodidad cuando se encuentra en un ambiente que le permite eliminar la energía de desecho del cuerpo en la cantidad correcta a través de la transferencia de calor, según [6].

El estudio de la comodidad en las personas está relacionado con:

- La forma en la que el cuerpo funciona respecto a la energía que entra y sale del organismo.
- La manera en la que las condiciones del medio ambiente que rodea a una persona afecta a su sensación de comodidad.

El cuerpo humano tiene una capacidad notable para adaptarse a los cambios de la temperatura ambiental. Así por ejemplo: si una persona se traslada de un recinto caliente al ambiente exterior frío, el cuerpo reacciona con un temblor involuntario, con lo cual se genera energía en forma de calor corporal que compensa la pérdida excesiva de energía debida al cambio de las condiciones ambientales. Por el contrario, si una persona se traslada de un ambiente fresco y agradable a un ambiente caliente e incomodo, el cuerpo reacciona con un ajuste en el sistema circulatorio y respiratorio. Los vasos sanguíneos se dilatan con el fin de llevar la sangre cerca de la superficie de la piel y conseguir eliminar la energía de forma eficiente. De no ser esto suficiente, se inicia la sudoración que evapora la

humedad produciendo enfriamiento corporal.

El cuerpo humano adquiere la energía por medio de los alimentos, las bebidas y el oxígeno, más tarde esta energía es consumida por el metabolismo. La cantidad de energía en forma de calor que el cuerpo necesita liberar al medio depende de varios factores, pero de manera regular estos valores se encuentran entre 90 W, cuando se está descansando y 440 W cuando se está realizando algún tipo de actividad. La **Tabla I.2**, obtenida de la referencia [2], muestra una relación de actividades con la cantidad de calor sensible (S) y latente (L) que se libera al realizarlas a diferentes temperaturas.

Tabla I.2 Emisión de calor del cuerpo humano (adulto masculino) en relación con la actividad que realiza.

Actividad	Lugar Típico	20 °C		22 °C		24 °C		Total(W)
		S(W)	L(W)	S(W)	L(W)	S(W)	L(W)	
En reposo	Teatro, Cine	90	25	80	35	75	40	115
Trabajo ligero	Oficina, Restaurante	100	40	90	50	80	60	140
Caminar lento	Almacén, Banco	110	50	100	60	85	75	160
Trabajo medio	Escuela, Tienda	140	125	125	140	105	160	265
Trabajo fuerte	Industria	190	250	165	275	135	305	440

Una pequeña parte de esta energía se libera por medio de la radiación si el ambiente y las superficies alrededor del cuerpo se encuentran fríos. Otra parte se libera por medio de la convección desde la piel. La energía restante lo hace mediante la vaporización producto de la transpiración de la piel. Estas pérdidas por convección dependen principalmente de la zona de piel expuesta y de la diferencia de temperatura entre el medio y la piel. De esta manera si el valor de la temperatura del medio se aproxima a la del cuerpo humano (por lo general 36,9 °C), las pérdidas por convección se reducen prácticamente a cero.

El ser humano estará confortable bajo una variedad de combinaciones de temperatura y humedad. La mayoría de las personas están confortables en una atmósfera con una humedad relativa de entre 30% y 70%, y una temperatura entre 21 °C y 29 °C. Un área aproximada a estos puntos se representa por el área resaltada en la carta psicrométrica de la **Figura I.6**. Dicha área se conoce como zona de confort, como se establece en [6].

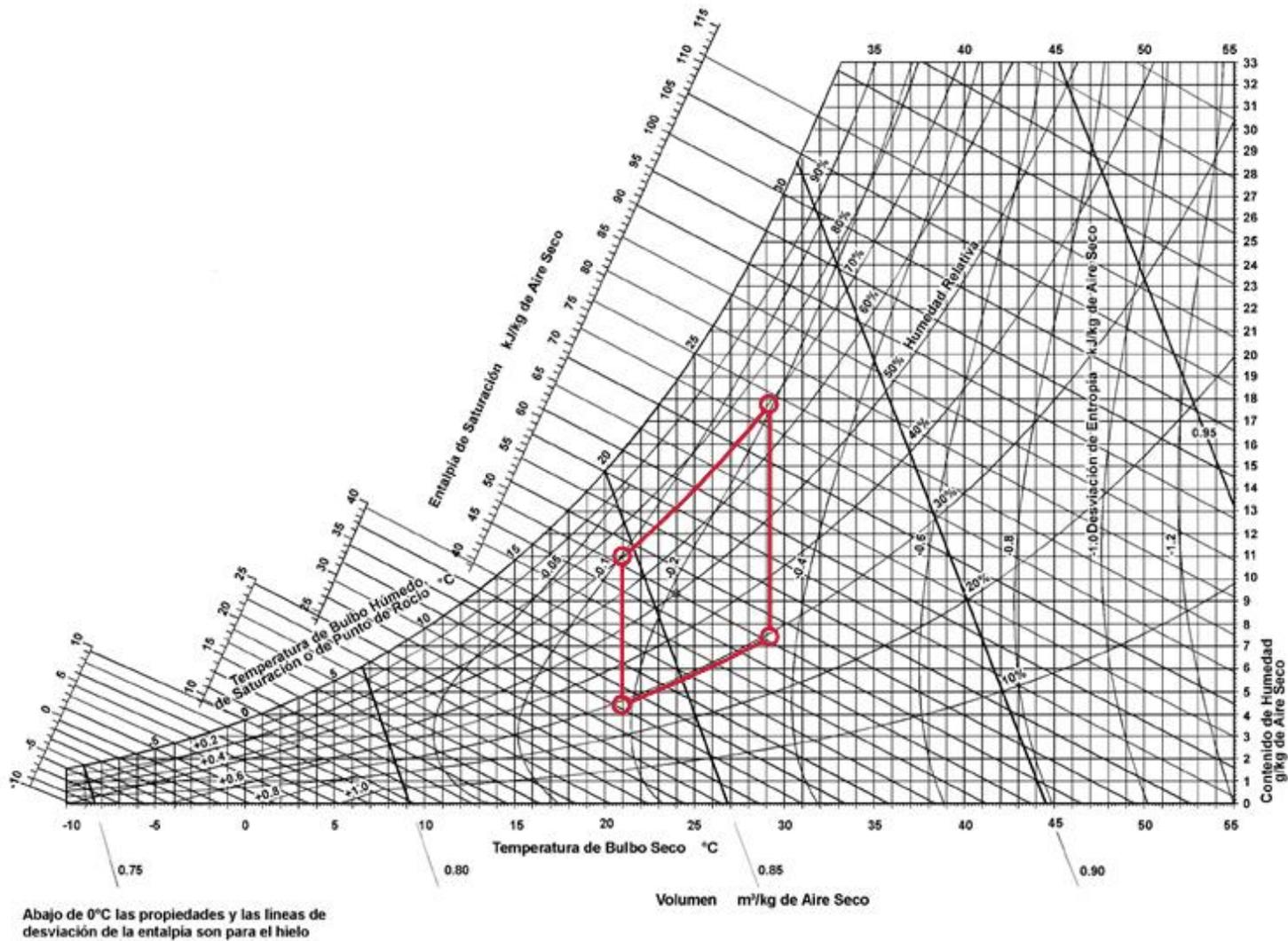


Figura I.6 Carta Psicrométrica mostrando la zona de confort.

I.4 Sistemas de Aire Acondicionado

Un sistema de aire acondicionado que cubra las necesidades térmicas de un local específico, no necesariamente cubrirá las necesidades térmicas de otro local ya que dichos locales presentan características térmicas diferentes y propias por razones como cambios en las temperaturas externas, radiación solar, la actividad física de los ocupantes, etc. Esta es la razón por la que se han desarrollado un sin número de sistemas de aire acondicionado. A continuación se mostrarán los diferentes tipos de sistemas de acondicionamiento de aire existentes actualmente.

El acondicionamiento de aire es el proceso de tratamiento del mismo en un ambiente interior con el fin de establecer y mantener los intervalos requeridos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento. Para proporcionar estas condiciones existen diferentes sistemas de aire acondicionado. Estos son:

- Expansión directa
- Sistema Todo - Agua
- Sistema Todo - Aire
- Sistema Aire – Agua

I.4.1 Sistemas de Expansión Directa

Los Sistemas de expansión directa (DX) son unidades de tratamiento de aire ensambladas en fábrica, capaces de producir aire frío sin requerir otras instalaciones adicionales. Consultando la referencia [5], se puede ver que están compuestos por los elementos de refrigeración básica como son: compresor, evaporador, condensador y válvula de estrangulación; adicionalmente están provistos de controles automáticos, filtros y ventiladores.

Este sistema de acondicionamiento de aire es el más elemental y se lo conoce también como unidad autónoma o unidad tipo armario, la cual necesita de una abertura en la pared (ventana) para tomar el aire.

El control de estas unidades suele ser del tipo todo-nada, o control escalonado para las unidades mayores; sin embargo, en la mayoría de los casos el ventilador funciona continuamente. El sistema de expansión directa suele ser utilizado en residencias particulares, oficinas, establecimientos comerciales o grupos de locales que constituyen zonas individuales (como se puede ver en [6]).

La **Figura I.7** muestra un esquema de este tipo de sistema. El tamaño de las unidades autónomas varía desde pequeños enfriadores de habitación de tonelaje fraccionario, hasta grandes unidades que están en la categoría de las 100 toneladas.

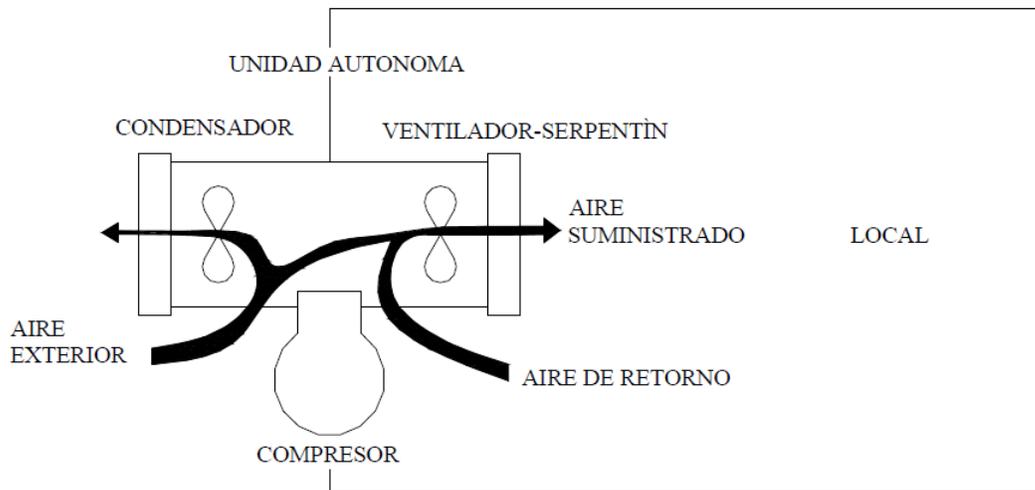


Figura I.7 Sistema de Expansión Directa

Ventajas

- El control del ambiente en la habitación es individual, simple y económico.
- La distribución del aire en cada habitación es individual y puede adaptarse a las necesidades de los ocupantes.
- Si el equipo funciona mal ó se paraliza, únicamente dicho equipo y la zona en que funcionan son afectadas.
- Para ahorrar el consumo de energía, se puede apagar los equipos que estén funcionando en zonas no ocupadas, sin afectar las zonas vecinas.
- No se requiere adiestramiento de personal para la operación del equipo, ya que su funcionamiento es simple.
- El costo inicial es usualmente bajo.
- El consumo de energía puede ser medido directamente de cada arrendatario.

Desventajas

- El equipo no posee flexibilidad en su funcionamiento ya que su capacidad de enfriamiento es constante.
- Generalmente estos sistemas no pueden mantener un estricto control de la humedad ambiental.
- Estos equipos generan problemas estéticos en las fachadas de los edificios.
- Su instalación se ve imposibilitada en locales que no tienen paredes o ventanas hacia el exterior.

I.4.2 Sistemas Todo – Agua

Con referencia ahora a [5], los sistemas Todo-Agua, al igual que los sistemas de expansión directa necesitan de una abertura en la pared para instalar su unidad terminal llamada unidad Ventilador-Serpentín pero con la diferencia de que el sistema Todo-Agua sí necesita de otros sistemas para acondicionar el aire. Esta unidad Ventilador-Serpentín es un intercambiador de calor que intercambia energía entre el aire caliente y el agua fría en el Verano, ó el aire frío y el agua caliente en el invierno.

En la **Figura I.8** se muestra un esquema de funcionamiento de dicho sistema.

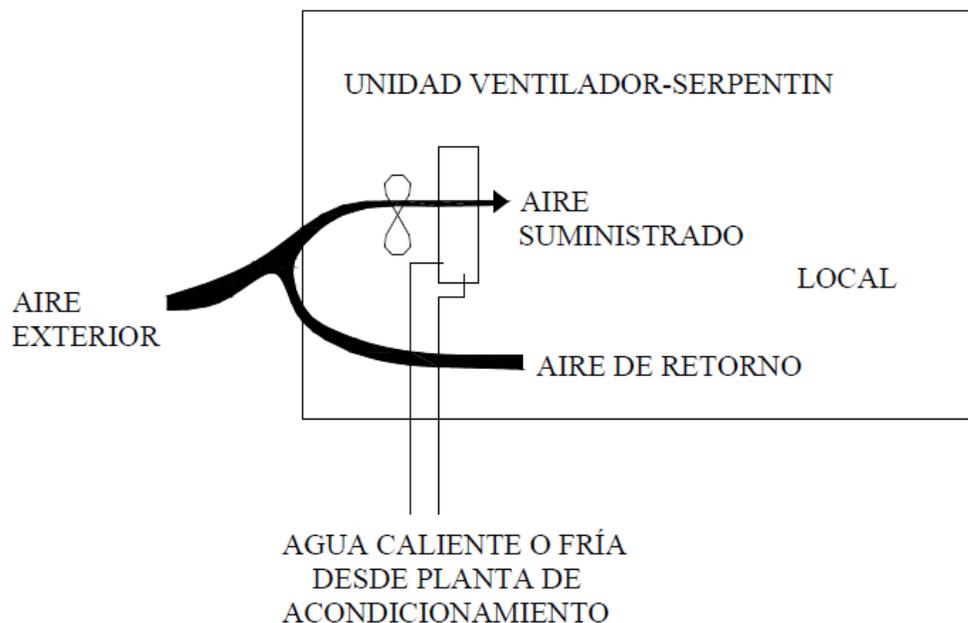


Figura I.8 Sistema Todo-Agua

El aire utilizado por el sistema es una mezcla de dos corrientes de aire: aire exterior y aire de retorno, que son tomados directamente del local y de su ambiente cercano; en tanto que el agua utilizada es procesada en una fuente alejada del local, la cual, dependiendo de la estación del año, puede tratarse de un equipo enfriador de agua o calentador.

El agua y el aire son llevados al intercambiador de calor por medio de conductos, para finalmente llevar al aire a las condiciones deseadas para distribuirlo en el local. Este tipo de sistemas es utilizado en edificios de muchas habitaciones como: hoteles, edificios de apartamentos y oficinas, oficinas de fábricas y pequeños centros médicos.

Ventajas

- Permiten un aceptable control de temperatura en un espacio individual.
- Evitan el cruce de aire contaminado de una habitación a otra.
- El sistema es capaz de proveer enfriamiento y calentamiento simultaneo en diferentes zonas.
- El sistema puede funcionar de manera continua.

Desventajas

- El mantenimiento de los sistemas Todo-Agua necesariamente debe realizarse en las áreas ocupadas.
- Las unidades que trabajan con un bajo punto de rocío requieren bandejas de recolección de condensado y un sistema de drenaje que debe limpiarse periódicamente.
- La limpieza del serpentín es un tanto complicada.
- Su instalación se ve imposibilitada en locales que no tienen paredes o ventanas hacia el exterior.

I.4.3 Sistemas Todo – Aire

El sistema Todo-Aire está constituido por una unidad manejadora de aire (UMA) que se encuentra alejada del local que se va a acondicionar y montada en forma central en un cuarto de máquinas o sobre el techo. Solamente llega al espacio acondicionado el aire que circula por un sistema de conductos. De manera similar

al anterior, este sistema se puede utilizar tanto para enfriamiento como para calefacción, dependiendo de la estación del año. La **Figura I.9** muestra la manera en que circula el aire dentro de un local climatizado con un sistema Todo-Aire, como se plantea en [6].

En el cuarto de máquinas se encuentran todos los equipos necesarios para llevar al aire a las condiciones de confort térmico, estos equipos pueden ser: Enfriadores, calentadores, humidificadores, filtros, ventiladores, bombas, etc.

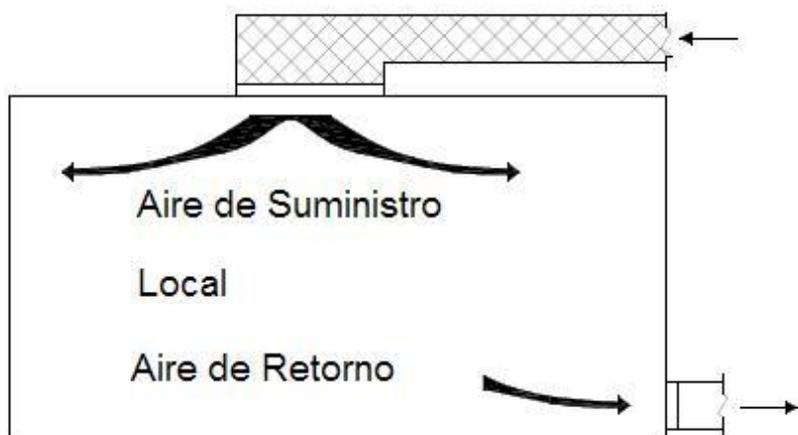


Figura I.9 Local climatizado con un sistema Todo-Aire

Los sistemas Todo-Aire se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Sistemas de Zona Única o Unizona
2. Sistemas de Múltiples Zona o Multizona.

Sistemas de Zona Única o Unizona: Son los sistemas más sencillos de tipo Todo-Aire. Como se puede leer en la referencia [5], una unidad se encarga de acondicionar el aire y luego distribuye un volumen constante de aire mediante un conducto hacia un local, La **Figura I.10** muestra un esquema para este tipo de sistemas.

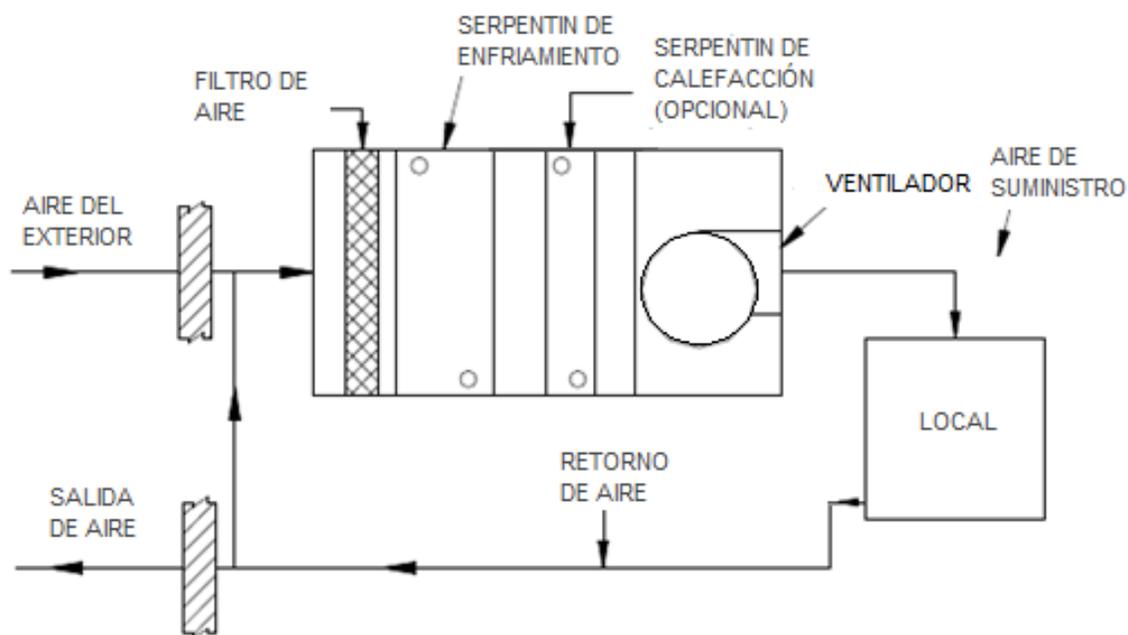


Figura I.10 Sistema Todo-Aire de Zona Única.

En este tipo de sistemas el aire es impulsado por el ventilador hacia el local climatizado a través de un conducto de suministro. A su vez, este ventilador aspira aire desde el local y desde una toma de aire renovado (proveniente del exterior). El aire proveniente del espacio climatizado regresa al equipo de tratamiento a través de conductos de retorno y parte de él sale al exterior por una compuerta dispuesta para este fin. Parte del aire de retorno se mezcla con aire de renovación y dicha mezcla pasa al interior de la unidad para ser acondicionada y nuevamente impulsada al interior del local.

Sistemas de Múltiples Zona o Multizona: Su funcionamiento es similar al anterior. En este caso es aire es impulsado a varios espacios climatizados, la temperatura en el interior de cada una de las habitaciones se hace mediante un termostato que controla la apertura o cierre de compuertas de aire. La **Figura I.11** muestra un esquema para un sistema de este tipo, que se obtuvo de la referencia [5].

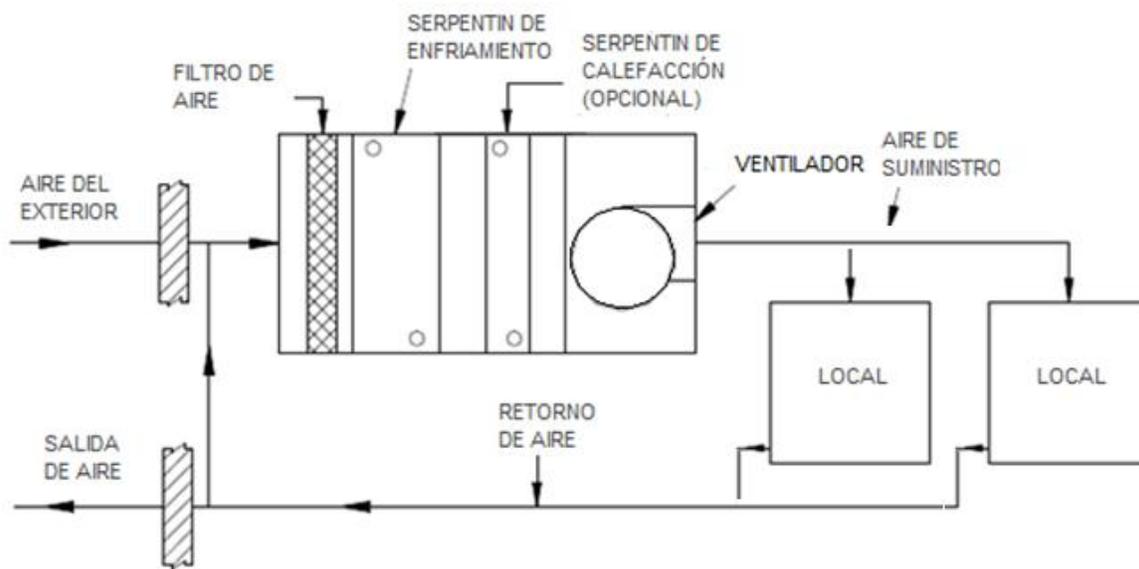


Figura I.11 Sistema Todo-Aire de Múltiples Zonas.

Ventajas

- La ubicación del equipo en un cuarto central de maquinas o sobre el techo permite realizar la operación y mantenimiento en áreas desocupadas. Además, permite incorporar un alto rango de opciones de equipos para filtración, control de vibración y ruido.
- Permite concentrar las tuberías, los equipos eléctricos, los cables, los filtros y los equipos que producen vibración y ruido en una zona central.
- Se minimiza las necesidades de servicio en el área acondicionada y reduce las molestias potenciales a los ocupantes derivadas de estos procedimientos.
- El cambio de estación es simple y el control automático se adapta fácilmente.
- Permiten una buena flexibilidad de diseño para una óptima distribución de aire, control de flujo y adaptabilidad para variaciones de los requerimientos del local.

Desventajas

- Requieren de espacio para conductos adicionales lo cual reduce la utilidad del área de piso e incrementa la altura de la construcción.
- La construcción del sistema requiere una cercana cooperación entre

diseñadores arquitectónicos, mecánicos y estructurales.

- El equilibrio del aire, particularmente en sistemas grandes, puede ser difícil.

I.4.4 Sistemas Aire – Agua

Según [6], los sistemas Aire-Agua utilizan plantas de refrigeración de agua y unidades de tratamiento de aire, que se encuentran alejados del local acondicionado, pero utilizan unidades terminales (intercambiadores de calor) que se encuentran ubicados en el local mismo, a donde llegan, por medio de tuberías o conductos, el agua y el aire que ya han sido procesados para intercambiar su energía y proporcionar el aire acondicionado conveniente.

En la **Figura I.12** se muestra el esquema de funcionamiento de este tipo de sistema. El aire y el agua son enfriados o calentados por equipos centrales destinados a este fin. El aire suministrado es llamado **aire primario** y el agua suministrada se le conoce como **agua secundaria**.

Estos sistemas emplean las mejores características de los sistemas Todo-Agua y Todo-Aire. La mayor parte de la energía se transporta en el agua. En general, las cantidades de aire que se distribuyen son para ventilación, por lo tanto el espacio total necesario de entrepisos y cielos rasos es pequeño, además el aire en general se maneja a grandes velocidades, como se ve en [6].

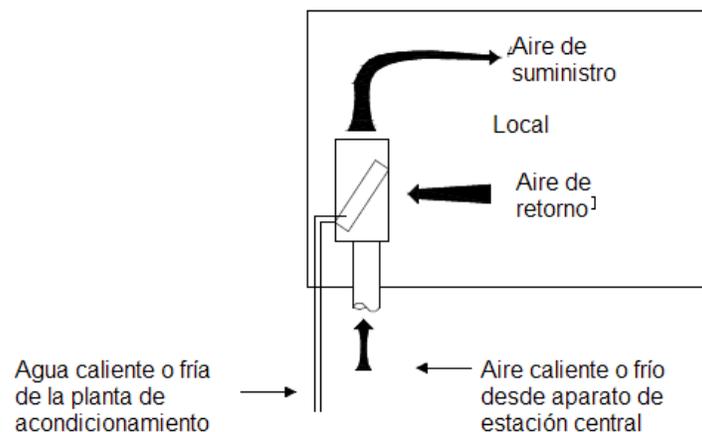


Figura I.12 Sistema Aire-Agua.

Ventajas

- El control de la temperatura de cada habitación se puede hacer de forma individual ajustando cada termostato a diferentes valores.
- Los equipos centrales que manejan el aire son pequeños que en otros sistemas debido a se manejan cantidades pequeñas de aire.
- La deshumidificación, filtración y humidificación se llevan a cabo en una unidad central distante del espacio acondicionado.
- El espacio puede ser calentado sin operación del sistema de aire mediante el sistema de agua secundario.
- Los componentes del sistema son duraderos. Las terminales de las habitaciones duran por general de 15 a 25 años.

Desventajas

- Para muchas construcciones, este sistema es limitado para espacios perimetrales.
- Los controles tienden a ser más numerosos comparados con los sistemas Todo-Aire.
- Las cortinas de fibras o filtros de baja eficiencia usados para proteger estos terminales requieren frecuente mantenimiento en la habitación y reduce el funcionamiento termal de la unidad.
- Dicho mantenimiento ocasiona molestias a los ocupantes del espacio climatizado.
- El sistema no es aplicable para espacios con altos requerimientos de descarga de aire.
- El costo de instalación y mantenimiento de estos sistemas, por lo general es más alto que el de los sistemas Todo-Aire.

Capítulo II

Controladores Lógicos Programables

En la naturaleza los sistemas de control son comunes, funcionan de forma exacta y precisa, manteniendo el equilibrio en el ciclo de evolución y desarrollo de los seres vivos. En el ser humano, por ejemplo, el cerebro y el sistema nervioso conservan el equilibrio y el buen funcionamiento del cuerpo.

En el campo de la industria se han desarrollado los Controladores Lógicos Programables (PLC), que son dispositivos electrónicos programables encargados de controlar el funcionamiento normal de los sistemas de producción, aumentando la calidad del producto final o mejorando los servicios que proporcionan los equipos o procesos así controlados. Estos dispositivos han adquirido una gran popularidad gracias a sus características y desempeño y en la actualidad se encuentran presentes en la mayoría de los procesos automatizados. El campo de los sistemas de climatización no queda exento a esto, diferentes variantes y tipos de PLCs se usan para automatizar estos sistemas.

En el capítulo anterior se abordaron las diferentes propiedades del aire, principalmente las que, al modificarse, brindan la posibilidad de obtener un ambiente de confort. Se trataron además los diferentes sistemas de acondicionamiento de aire que son capaces de variar los parámetros antes mencionados. En este capítulo se hará referencia a los PLCs, su estructura, funcionamiento, formas de programación, etc., uno los cuales será el elemento principal de control que se usará en el diseño de este proyecto, se abordará además la teoría de control PID, como base del algoritmo de control que se utiliza por el PLC.

II.1 Generalidades sobre PLC

Todo sistema automatizado está formado por tres partes claramente diferenciadas:

1. La parte operativa o proceso que se desea controlar.
2. La parte de control o controlador utilizado para gobernar la parte operativa de la manera deseada.
3. La parte de supervisión y explotación del sistema que servirá de interfaz entre el operador y el sistema automatizado. Generalmente a esta función se le conoce con el acrónimo HMI (Interfaz Hombre Máquina).

Según plantea la referencia [8], para llevar a cabo el correcto intercambio de información entre las distintas partes que integran un sistema automático son necesarias una serie de interfaces o líneas de comunicación. En la **Figura II.1** se muestra el esquema general de un sistema automatizado, en el cual se integran las tres secciones antes mencionadas.

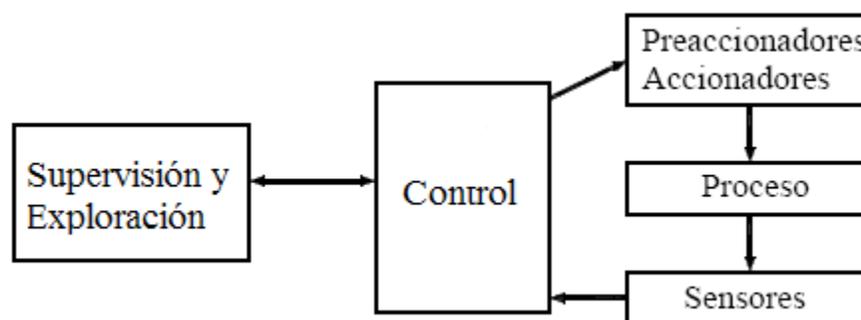


Figura II.1 Esquema general de un sistema automatizado.

Solo por poner un ejemplo, si se pretende automatizar un sistema de climatización, el proceso a controlar o parte operativa estaría integrado por las distintas partes o sistemas (ventilación, persianas, flujos de agua, etc.) susceptibles de ser controlados.

La parte de control la conforman los sensores o elementos primarios de medición (los cuales detectan las magnitudes físicas del sistema) y los actuadores o elementos de acción final (los cuales realizan las acciones sobre los componentes del sistema) que se encuentran conectados al autómatas programable.

La parte de supervisión y explotación estaría compuesta por el programa de control que reside en la memoria del PLC, encargándose de tomar las “decisiones” oportunas para mantener el proceso dentro de los márgenes de trabajo definidos por el usuario, como se establece en [7].

La información indicada por los sensores (presencia de humo, aumento de la temperatura, etc.) se convierte en una señal eléctrica y se adapta al alcance de trabajo del PLC, más tarde se transmite a éste por medio del interfaz de conexión correspondiente. El PLC, con esta información y en base al programa de control, indicará las acciones que deben ejecutar los equipos del sistema por medio de los preaccionadores y accionadores del proceso (relés, contactores, electroválvulas, etc.). Estos dispositivos se conectan al PLC por medio de una interfaz adecuada, lográndose así transformar las señales eléctricas que produce el equipo de control en acciones sobre los distintos componentes del sistema.

II.1.1 Funciones Básicas de los PLCs

Entre las funciones básicas de un PLC se pueden destacar las siguientes:

Detección:

Esta función se encarga de leer las señales provenientes de los captadores distribuidos por el sistema.

Mando:

Elabora y envía las acciones al sistema las cuales se realizan por medio de los accionadores y preaccionadores.

Diálogo Hombre-Máquina:

Mantiene un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

Programación:

Permite la inserción de un programa que contiene la secuencia lógica de funcionamiento del proceso.

II.1.2 Nuevas Funciones de los PLCs

Las tecnologías para la fabricación de los PLCs se han perfeccionado con el paso del tiempo, incorporando nuevas funciones que en un principio no presentaban, algunas de estas funciones se describen a continuación.

Redes de comunicación:

Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre diferentes controladores en tiempo real. En solo algunos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.

Sistemas de supervisión:

Estos controladores de nuevas generaciones permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión a uno de los puertos del ordenador.

Control de procesos continuos:

Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos, los PLCs llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida para señales analógicas y la posibilidad de ejecutar algoritmos PID que ya están programados en dicho controlador.

Entradas/Salidas distribuidas

Los módulos de entrada salida no necesariamente están en el armario del controlador. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del PLC mediante un cable dispuesto para este fin.

Buses de campo:

Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El controlador consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

Auto sintonización de parámetros PID:

Esta función brinda la posibilidad al PLC de obtener de manera automática los parámetros necesarios para llevar a cabo un óptimo control PID (lo cual se explicará adelante). Estos parámetros se almacenan en direcciones de memoria del equipo y se actualizan constantemente con cada ciclo del mismo.

II.2 Controlador Lógico Programable

Un Controlador Lógico Programable, es un equipo electrónico, que puede ser programado en lenguaje no informático, está diseñado para controlar, en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. Su manejo y

programación se pueden realizar por personal con conocimientos eléctricos o electrónicos y sin necesidad experiencia en campos de la informática. Estos controladores realizan funciones en serie, en paralelo, de temporización, de conteos y otras más potentes como cálculos y regulaciones, según [7].

No hay que perder de vista que los PLCs son la evolución natural del empleo de la tecnología eléctrica en el control de procesos. De esta forma un PLC se puede entender como el dispositivo electrónico que viene a sustituir el conjunto de componentes eléctricos (relés, enclavamientos, etc.) que adecuadamente combinados implementan la lógica de un circuito de mando, como se puede leer en la referencia [8]. Esa lógica será implementada en este nuevo dispositivo como un programa de control.

II.2.1 Estructura Interna

De manera general los componentes básicos de un PLC se pueden observar en la **Figura II.2**.

El PLC, como se observa en la figura mencionada anteriormente, es un equipo autónomo y compacto que internamente está distribuido por diferentes áreas o secciones:

- Unidad Central de Procesos (CPU)
- Sección de entradas
- Sección de salidas
- Unidad de alimentación
- Unidad de programación
- Periféricos
- Módulo de comunicaciones
- Memoria

Cada una de estas áreas presenta funciones específicas dentro del funcionamiento del controlador.

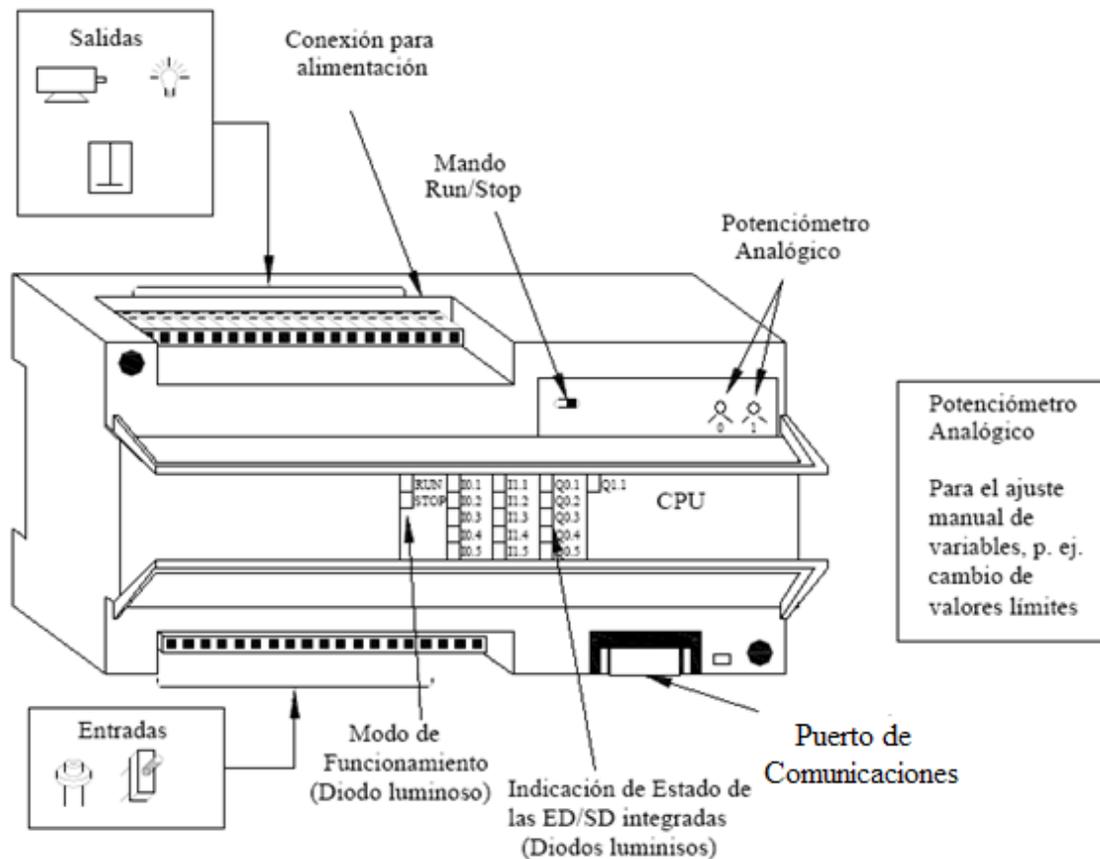


Figura II.2 Partes principales de un PLC.

II.2.2 Funciones Generales de las Secciones Internas

Unidad Central de Procesos (CPU)

Las funciones que debe garantizar esta sección son la interpretación y ejecución de las instrucciones del programa de usuario.

Esta sección puede considerarse que está conformada por tres partes fundamentales: el microprocesador, las memorias y los circuitos auxiliares. Cada uno de estos elementos se encarga de una función distinta, lográndose en conjunto el objetivo principal de la CPU, lo cual se establece en la referencia [7].

- **El microprocesador:** Es un circuito integrado que realiza las operaciones de tipo lógico, aritmético y de control de transferencia de datos dentro del controlador.

- **Las memorias:** Son registros de almacenamiento temporal de instrucciones, datos y direcciones. Los registros básicos son el acumulador, el contador de programa, el registro de trabajo y el registro de banderas.
- **Los circuitos auxiliares:** Son unidades internas encargadas de realizar los cálculos y las decisiones lógicas, así como emitir la señal de control para cada instrucción.

Sección de entradas

Esta sección es una interfaz que adapta y codifica, de forma comprensible por la CPU, las señales procedentes de los dispositivos de entrada, los cuales se denominan captadores o elementos primarios y que indican cómo se encuentra el proceso en cada momento. Los captadores pueden ser detectores de valores límites, pulsadores, sensores y otros dispositivos de entrada. Esta sección además, debe garantizar la protección de los dispositivos internos del controlador. Estas entradas pueden ser de tipo analógica o discreta.

Se llama punto de entrada al puerto en donde se conecta el medio por el cual se transmite la señal que proviene de los captadores. Como se entiende de [9], a este punto de entrada se asigna una dirección de memoria que refleja su estado ON/OFF. Esta dirección de memoria se denomina bit de entrada. La CPU en su ciclo de procesamiento normal monitoriza los datos de todos los puntos de entrada y cambia a ON o a OFF los bits de entrada correspondientes, dependiendo de la señal entrante.

Sección de salidas

Es una interfaz que decodifica las señales generadas por la CPU, las amplifica y las envía a los actuadores. Los actuadores pueden ser lámparas, relés, contactores, arrancadores, electroválvulas o cualquier otro elemento de acción final. Estas salidas pueden ser de tipo analógica o discreta.

Para que esta sección lleve a cabo su función, existen en memoria bits de salida que están asignados a puntos de salida, a través de los cuales se envían las señales a los diferentes dispositivos, según [7]. Es decir, un bit de salida se cambia a un estado de ON para enviar una señal a un dispositivo a través de un Punto de Salida. La CPU, de manera periódica, cambia los estados de los puntos de salida a ON o a OFF de acuerdo con el programa de control.

Unidad de alimentación

Esta sección se encarga de suministrar la alimentación eléctrica a los circuitos del controlador. Generalmente 220 V c.a ó 24 V c.c. Además, es capaz de adaptar la tensión de la red 110 V c.a ó 220 V c.a., 50 Hz ó 60 Hz a la de funcionamiento de los circuitos electrónicos internos del controlador, así como a los dispositivos de entrada, los cuales, en su mayoría, reciben alimentación eléctrica desde esta unidad.

Unidad de programación

Se entiende a partir de [7] que, es un dispositivo externo mediante el cual se introducen al controlador las instrucciones del programa creado por el usuario. Este dispositivo es denominado Consola de Programación y se utiliza para escribir y transferir programas al PLC, así como para monitorizar las operaciones y modificar datos. La consola se puede conectar directamente al PLC en caso de que solo se utilice un único PLC. También se puede conectar, a través de un adaptador de enlace, de manera que esta consola puede acceder a cada uno de los PLC conectados al adaptador. En la actualidad el dispositivo utilizado para este fin es un ordenador.

Periféricos

Los periféricos son dispositivos independientes que facilitan el uso del controlador o amplían su campo de aplicación. Entre los periféricos conocidos se encuentran los llamados módulos de expansión, los cuales garantizan un mayor número de prestaciones que las que puede brindar el PLC por sí solo.

Los módulos de expansión pueden ofrecer un mayor número de puntos de entrada y salida, diferentes interfaces de comunicación, temporizadores, contadores y otras funciones que pueden ser útiles dependiendo de la aplicación para la cual se utiliza un PLC específico.

Módulo de comunicaciones

Son unidades que permiten la interconexión de la CPU con la consola de programación y con los periféricos, según se entiende en [9]. La configuración que presenta el conector que enlaza el PLC con los diferentes dispositivos se denomina interfaz y entre las más utilizadas se encuentran RS – 232 y RS – 422/485. La **Figura II.3** muestra la conexión entre un ordenador (PC) y un PLC.

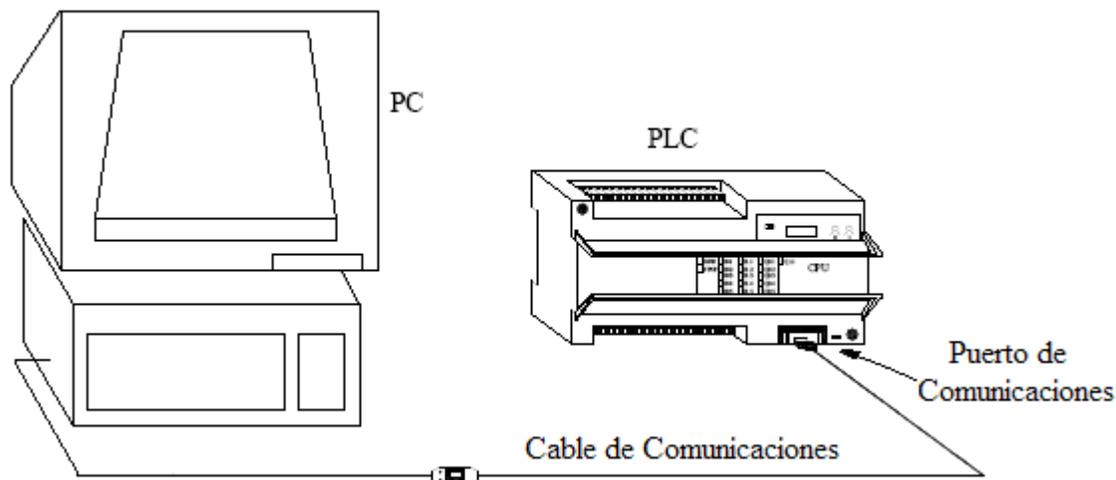


Figura II.3 Comunicación de un PLC con un PC.

Memorias

Esta sección contiene todos los datos e instrucciones que se necesita para ejecutar la tarea de control. La memoria interna es la encargada de almacenar los datos intermedios de cálculo y las variables internas que no aparecen directamente sobre las salidas, así como un reflejo o imagen de los últimos estados leídos sobre las señales de entrada o enviados a las señales de salida.

La referencia [8] plantea que la memoria de programa contiene la secuencia de operaciones que deben realizarse a partir de las señales de entrada para generar las señales de salida, así como los parámetros de configuración del controlador. Por ello, si se hace necesario introducir alguna variación sobre el sistema de control, generalmente es suficiente con modificar el contenido de esta memoria.

Otros elementos que se encuentran en los PLCs son los diodos luminosos, los cuales indican el modo de operación de la CPU (RUN o STOP), el estado de las entradas y salidas integradas, así como los posibles fallos del sistema que se pudieran detectar.

La arquitectura interna de un PLC se puede apreciar gráficamente, como lo muestra la **Figura II.4**, en la que se ven reflejadas cada una de las secciones antes descritas.

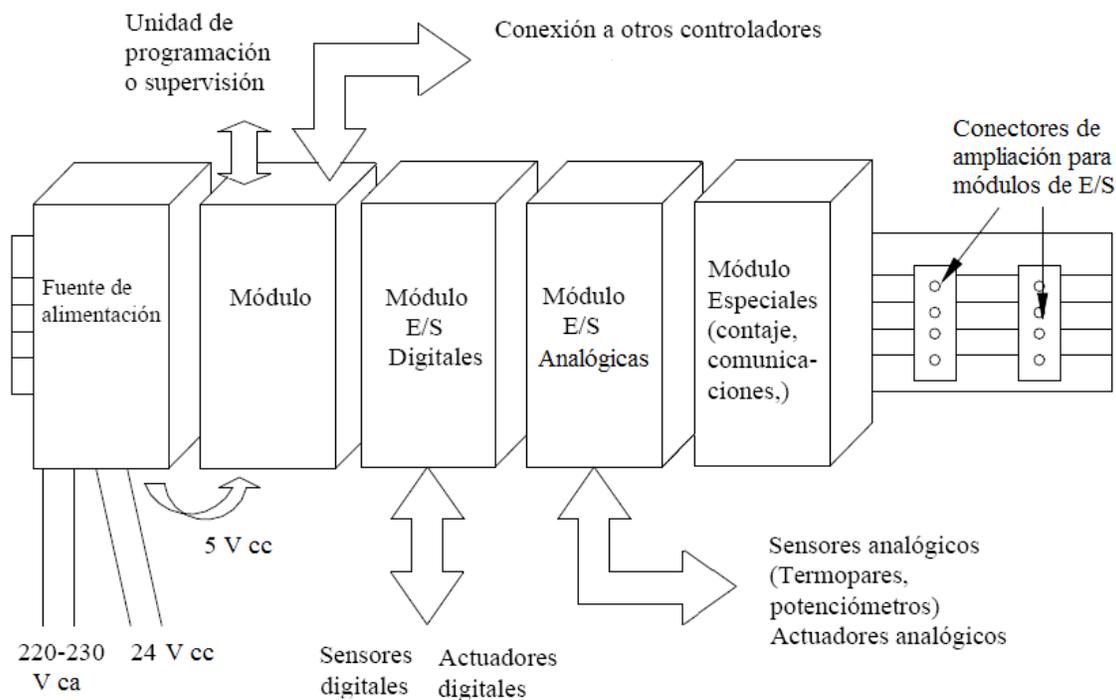


Figura II.4 Arquitectura interna de un PLC.

II.3 Funcionamiento de un Controlador Lógico Programable

Partiendo de que un PLC, cualquiera que este sea, esté provisto de alimentación eléctrica, sus modos de funcionamiento básicos son los siguientes:

- **Stop.** En este modo de funcionamiento no se ejecuta el programa de control.
- **Run.** En este modo de funcionamiento el programa de control se está ejecutando de manera indefinida hasta que el PLC pasa al modo Stop o se desconecta de la alimentación.

Este último modo de funcionamiento (Run) es, evidentemente, el más importante. Cuando el controlador se encuentra en esta situación el programa de control, que se encuentra en la memoria de programa, se ejecuta cíclicamente describiendo lo que se ha dado en llamar "Ciclo de Scan".

Un "Ciclo de Scan" consiste básicamente en cuatro pasos bien diferenciados:

1. Lectura de las entradas del PLC
2. Ejecución del programa de control.

3. Escritura sobre las salidas del PLC.
4. Tareas internas del PLC.

II.3.1 Lectura de las Entradas

Al inicio de cada ciclo, el sistema operativo del PLC comprueba el estado en el que se encuentran todos los elementos de entrada (sensores, pulsadores, etc.) que están conectados a los distintos módulos y puntos de entradas. En el caso de que un sensor esté activado, es decir, que está detectando cierta variable, el PLC establecerá un “1” lógico (ON) en una posición determinada de una zona de memoria especialmente dispuesta para este fin. Si por el contrario ese sensor no estuviese activado, entonces el PLC establecería un “0” lógico (OFF) en la misma posición de memoria, según plantea [8].

En caso de que el elemento conectado a un punto de entrada, envíe señales de tipo analógicas, en lugar de escribir un “1” o un “0”, el PLC convertirá el valor de la magnitud física a un valor numérico, el cual también se establecerá en una zona de la memoria dispuesta para entradas analógicas, como se puede leer en [8].

Esta operación de lectura de las entradas conlleva un cierto tiempo para ejecutarse totalmente, el cuál debe tenerse en cuenta a la hora de calcular la duración del ciclo del PLC. En cualquier caso, este tiempo suele ser despreciable con respecto a la duración de la ejecución del programa de control.

Al realizar la lectura de todas las entradas al comienzo de cada ciclo, se asegura que todas las instrucciones del programa de control son ejecutadas sobre una “imagen” del estado del proceso. Es decir, que si una vez comenzado a ejecutarse el programa de control, algún sensor del proceso cambiase de valor, este nuevo valor no se tomaría en cuenta hasta el siguiente ciclo.

II.3.2 Ejecución del Programa de Control

Una vez que las direcciones de memoria asignadas a los puntos de entrada han sido totalmente actualizadas, el sistema operativo del PLC comenzará a ejecutar las instrucciones del programa albergado en su memoria. Lo hará secuencialmente comenzando por la primera instrucción del programa que se considere el principal.

La ejecución secuencial no implica ejecución lineal, es decir, un programa puede contener instrucciones especiales que permitan hacer saltos hacia delante y hacia atrás, e incluso es posible que haya subrutinas e interrupciones. Pero en cualquier caso, la ejecución continuará desempeñándose de manera secuencial siendo posible alterar esa secuencia de forma dinámica, la secuencia acabará con una última instrucción, que tras ser ejecutada, pondrá fin al ciclo. La normal ejecución del programa de control hará que los valores de la memoria de datos del PLC cambien en la medida en que avanza dicha ejecución, teniendo especial importancia los cambios que se registren en las direcciones de memoria designadas para los puntos de salida, ya que serán los que finalmente derivarán en acciones sobre el proceso (como se plantea en [8]).

Por último es de destacar que la ejecución del programa de control durará una determinada cantidad de tiempo que será directamente proporcional a la velocidad del procesador (CPU) del PLC y que depende también del tamaño del código del programa.

II.3.3 Escritura sobre las Salidas

La referencia [8] plantea que cuando el sistema operativo del PLC detecta que se ha ejecutado la última instrucción del programa de control, éste comienza entonces a leer, una por una, todas las posiciones de memoria designadas para los puntos de salida. Para el caso de que, en una posición determinada, el PLC pueda leer un "1" lógico, se activará la salida correspondiente en el módulo de salidas. Es de esperar que, conectados a ese módulo de salidas y en esa posición en particular, se encuentre un elemento de acción final, el cual se activará como consecuencia de la activación de la salida descrita anteriormente, llevando a cabo la acción correspondiente sobre algún elemento del proceso.

Si tras la ejecución del programa de control, se generan señales analógicas en forma de valores digitalizados a las direcciones de memoria correspondientes a las salidas analógicas del PLC, en esta fase de escritura, se convierten estos valores digitales en valores proporcionales de corriente y tensión por medio de los módulos de salidas analógicas correspondientes. La referencia [8] describe que estos valores de corriente y tensión provocarán una acción proporcional sobre algún componente del proceso.

II.3.4 Tareas Internas

Antes de comenzar un nuevo ciclo, el PLC necesita realizar ciertas tareas internas como son: comprobar si se han producido errores, almacenar la duración del ciclo, actualizar valores internos de sus tablas de datos, etc.

La duración de esta fase puede considerarse despreciable con respecto a las otras tres. Una vez que esta fase ha terminado el sistema operativo del PLC comenzará a ejecutar un nuevo ciclo.

II.4 Programación del Controlador Lógico Programable

Programar un controlador consiste en introducirle una secuencia de órdenes (instrucciones) obtenidas a partir de un modelo de control, según una codificación determinada (lenguaje) que por su forma puede ser:

- Literal, o de textos
- Gráfica, o de símbolos

Cada instrucción del programa consta de dos partes: el código de operación, que define qué se debe hacer y el código de los operandos (generalmente identificados por su dirección), que indican las constantes o variables con las que se debe operar.

En definitiva, el usuario introduce su ley de mando en la unidad de programación mediante un programa (secuencia de órdenes) codificado según el lenguaje (conjunto de símbolos).

La unidad de programación compila o convierte el programa a los códigos binarios que realmente son entendibles por el controlador, los transfiere y deposita en la memoria del mismo. Estos códigos binarios, más tarde, se interpretan por el sistema operativo del PLC para poner en funcionamiento los recursos físicos (procesador, interfaces E/S, etc.) necesarios en la ejecución del programa.

II.4.1 Lenguajes de Programación

Un lenguaje de programación es el conjunto de símbolos y textos legibles por la unidad de programación, que le sirven al usuario para codificar, sobre un controlador en particular, las leyes de control deseadas.

Un programa es el conjunto de instrucciones, órdenes y símbolos reconocibles por el controlador, a través de su unidad de programación, que le permiten ejecutar la secuencia de control deseada.

El lenguaje depende del controlador empleado y de su fabricante, el cuál decide el tipo de unidad de programación (literal, gráfico) y el intérprete que utiliza su máquina. Asimismo el modelo de representación depende del usuario, que lo elige según sus necesidades o conocimientos.

Pese a ello, los lenguajes de programación para los controladores intentan ser lo más parecidos posibles a los modelos de representación usuales, a fin de facilitar la transcripción entre ambos. Así, los lenguajes pueden ser:

- Algebraicos
 1. Lenguaje booleanos
 2. Lista de instrucciones
 3. Lenguaje de alto nivel

- Gráficos
 1. Diagrama de contactos
 2. Diagrama de funciones / bloques
 3. Intérprete GRAFCET.

A continuación se hace referencia a los lenguajes más comúnmente empleados por los programadores de estos equipos.

Lenguajes Booleanos y Lista de Instrucciones

El lenguaje booleano está constituido por un conjunto de instrucciones que son transcripción literal de las funciones del álgebra de Boole (OR, AND, NOT). Estas instrucciones se complementan con otras instrucciones de inicio de sentencia y asignación de resultados (LOD, OUT).

En un funcionamiento normal, el controlador necesita algunas otras instrucciones

como ampliación del lenguaje booleano, que le permitan manejar elementos de uso común en automatización (TIM, CNT, SET, RST).

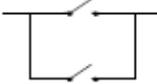
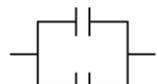
Además la mayor parte de los controladores incluyen extensiones al lenguaje booleano básico descrito, que permiten la manipulación de datos y variables digitales y la gestión del programa.

Al lenguaje resultante, que no puede llamarse ya booleano después de ser ampliado con estas extensiones, se le denomina *Lista de Instrucciones*.

Lenguaje de Diagrama de Contactos

El lenguaje de contactos expresa las relaciones entre señales binarias como una sucesión de contactos en serie y en paralelo, según las equivalencias que se muestran en la **Tabla II.1**, obtenida de la referencia [7].

Tabla II.1 Equivalencias instrucciones-contactos.

FUNCIÓN LÓGICA / LENGUAJES	OPERACIÓN PRODUCTO LÓGICO	OPERACIÓN SUMA LÓGICA	OPERACIÓN NEGACIÓN	ASIGNACIÓN DE VALOR
INSTRUCCIONES BOOLEANAS	AND	OR	NOT	OUT
ESQUEMAS DE RELÉS (DIN 40713-16)				
DIAGRAMAS DE CONTACTOS (NEMA/DIN 19239)				

El lenguaje Diagrama de Contactos ha sido acogido por muchos fabricantes de PLCs (principalmente norteamericanos y japoneses) como el lenguaje base de programación mediante un editor de símbolos gráficos. Normalmente este editor incluye restricciones en cuanto al número de contactos o bobinas a representar en cada línea, la ubicación de los mismos, la forma de las conexiones, etc.

Las equivalencias de la **Tabla II.1** permiten definir sobre los contactos un álgebra de Boole, denominada usualmente álgebra de contactos. Esto significa que

cualquier función lógica puede ser transcrita directa e inmediatamente a diagrama de contactos y viceversa. Sin embargo, el diagrama de contactos, no nació como una posible herramienta de visualización de programas ya escritos en lista de instrucciones, sino como transcripción directa de los esquemas eléctricos de relés (circuitos de mando) de uso común en la automatización previa a la aparición de los sistemas programables. Por esta razón, los diagramas de contactos incluyen temporizadores y contadores.

Lenguaje Plano de Funciones

El diagrama lógico o plano de funciones es la representación de las tareas de automatización utilizando símbolos como el que se muestra en la **Figura II.5**.

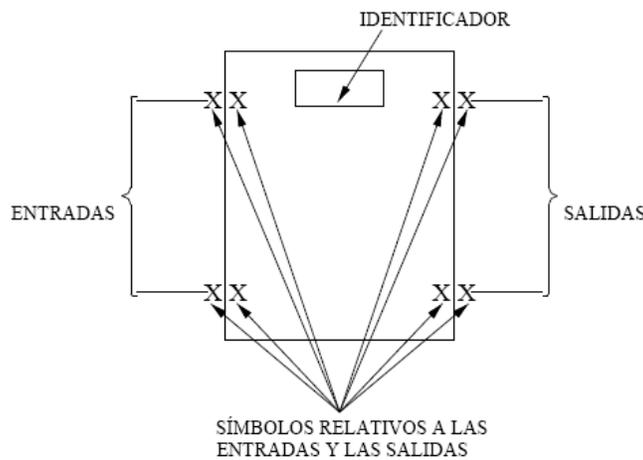


Figura II.5 Símbolo lógico empleado para programación en lenguaje de plano de funciones.

Algunos de estos símbolos, correspondientes a las funciones más frecuentes, se dan en la **Figura II.6**.

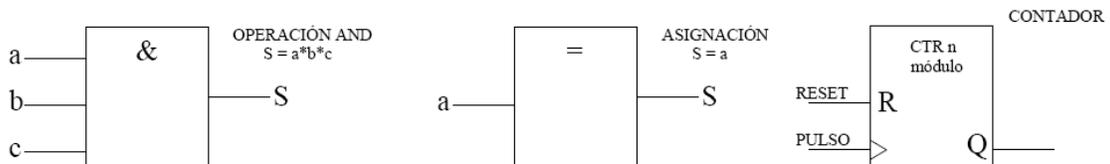


Figura II.6 Algunos símbolos lógicos.

La programación por diagramas lógicos incluye como bloques algunas funciones secuenciales típicas en automatización, como temporizadores y contadores, e incluso algunos bloques combinados y de tratamientos numéricos, como multiplexores, sumadores, multiplicadores, etc., pero no alcanza la multitud de

funciones que se han ido añadiendo a los lenguajes de listas de instrucciones y diagramas de contactos. Por esta razón y en sentido estricto, la programación por diagramas lógicos queda reservada a aplicaciones en las que sólo intervengan variables booleanas todo-nada, y algunos bloques secuenciales elementales: temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, etc.

Lenguajes de Alto Nivel

Debido a que las CPU son cada vez más rápidas, más potentes y de mayor capacidad de tratamiento, los controladores de gamas altas invaden aplicaciones que hasta hace poco eran reservadas a los miniordenadores industriales. Para estas aplicaciones, los lenguajes tradicionales en lista de instrucciones o diagrama de contactos resultan ya insuficientes. Por esta razón, los fabricantes han desarrollado lenguajes de programación próximos a la informática tradicional, con sentencias literales que equivalen a secuencias completas de programación, estos son los lenguajes de alto nivel. En ellos, las instrucciones son líneas de texto que utilizan palabras o símbolos reservados (SET, AND, POR, etc.), las operaciones se definen por los operadores matemáticos habituales (+, *, <, etc.) y se dispone de funciones trigonométricas, logarítmicas y de manipulación de variables complejas (COS, PI, REAL, IMG,...), como se puede ver en [7].

Dada su facilidad de manejo y su difusión a todos los niveles, el BASIC, convenientemente adaptado a las aplicaciones de un controlador, figura como el lenguaje de alto nivel más extendido. Sin embargo, también se pueden encontrar intérpretes o compiladores C, PASCAL, FORTRAN, etc., lo que permite resolver tareas de cálculo científico en alta resolución, clasificaciones de datos, estadísticas, etc., con total facilidad y con acceso además a módulos y subrutinas específicos ya escritos en estos lenguajes y de uso general en aplicaciones informáticas.

En cualquier caso, los lenguajes avanzados nunca constituyen el lenguaje básico de un controlador o familia de controladores, papel que queda reservado a la lista de instrucciones o al diagrama de contactos.

II.5 Leyes de Control

En un control de proceso ideal, el valor de proceso coincide en todo momento con el valor prefijado de proceso o valor de consigna. Ahora bien, en la práctica existen condicionantes que impiden que esta igualdad se cumpla siempre (inercias, etc.). El control de un proceso ideal es por tanto aquel que aproxima en valor real de la variable de proceso al valor de consigna durante la mayor parte posible del tiempo y reduce al mínimo las desviaciones (error) entre el ambos valores. Existen diferentes leyes o métodos de control que se pueden aplicar dependiendo del proceso y de las características propias de la variable de proceso. Dichas leyes se resumen a continuación.

II.5. Control Todo-Nada (On-Off)

En este controlador, también llamado controlador de dos posiciones, el elemento de acción final solo tiene dos posiciones fijas que, en la mayoría de los casos, son simplemente encendido y apagado (o abierto y cerrado para casos, por ejemplo de válvulas). El control de dos posiciones o de encendido y apagado es relativamente simple y barato, razón por la cual su uso es extendido en sistemas de control tanto industriales como domésticos.

Supongamos que la señal de salida del controlador es $u(t)$ y que la señal de error es $e(t)$. En el control de dos posiciones, la señal $u(t)$ permanece en un valor ya sea máximo o mínimo, dependiendo de si la señal de errores positiva o negativa.

La acción de control del modo de dos posiciones es discontinua, trayendo como consecuencias oscilaciones de la variable controlada en torno a la condición requerida debido a retrasos en la respuesta del controlador y del proceso. Se La salida es una señal de encendido o apagado sin importar la magnitud del error.

II.5.2 Sistemas de Control Moderno

Control Adaptativo

Es un método en el cual la respuesta de un controlador varía automáticamente basado en los cambios de las condiciones dentro del proceso y puede emplearse en diversas aplicaciones, como en el control del pH.

Control Difuso

Este control utiliza la lógica difusa a través de conceptos de inteligencia artificial capaz de convertir una muestra de la señal real a números difusos, para tratarlos según las reglas de inferencia y las bases de datos determinados en las unida desde decisión, logrando estabilizar el sistema sin la necesidad de fijar un punto de referencia.

Redes Neuronales Artificiales

Están diseñadas para actuar como lo hace el cerebro humano conectando la red entre los elementos de la forma más sencilla para poder ser entrenados y realizar funciones complejas en diversos campos de aplicación.

II.5.3 Ley de Control PID

Un algoritmo PID es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los parámetros antes mencionados. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Un diagrama de bloques de un control PID se muestra en la **Figura II.7**. Cada una de las ecuaciones que esta figura muestra, serán explicadas a continuación, sin embargo, es importante destacar que el uso o la implementación de cada uno de los controles independientes, y que la implementación de un control PID, es simplemente la suma los tres controles o algoritmos, como muestra claramente la **Figura II.7** (Ver referencia [11]).

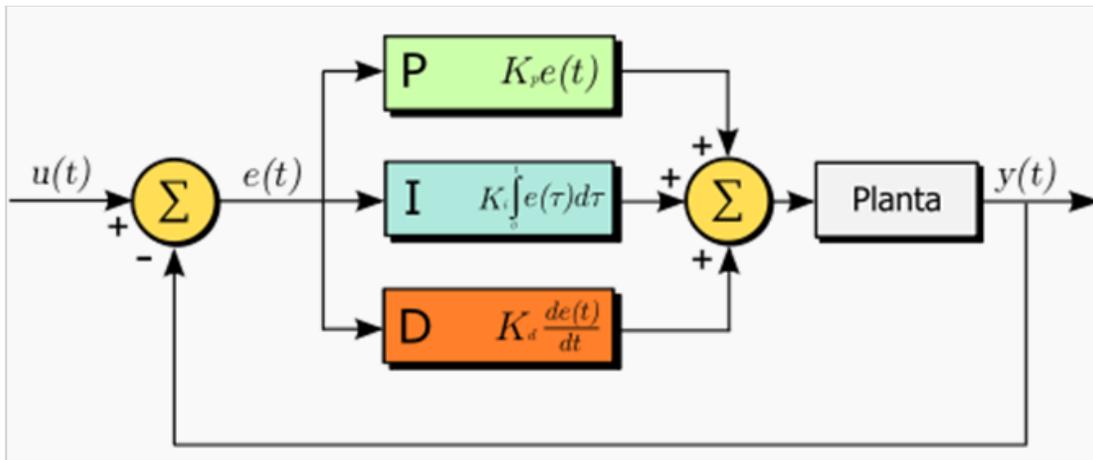


Figura II.7 Diagrama de bloques de un control PID.

Según el diagrama representado en la **Figura II.7**, la ecuación general mediante la cual se puede describir un control PID, quedaría como se muestra en la ecuación (II.1), obtenida de [10]. Cada uno de los términos y factores se explicarán más adelante.

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (\text{II.1})$$

Los controladores PID son suficientes para resolver el problema de control de muchas aplicaciones en la industria, particularmente cuando la dinámica del proceso lo permite y los requerimientos de desempeño son modestos. Los fabricantes proporcionan los controladores PID de variadas formas. Existen sistemas con capacidad para controlar uno o varios lazos de control.

Su uso extensivo en la industria es tal que el 95% de los lazos de control que existen en las aplicaciones industriales son del tipo PID, de los cuales la mayoría son controladores PI, lo que muestra la preferencia del usuario en el uso de leyes de control simples. Los controladores PID son generalmente usados en algunos dispositivos de mediano nivel como PLCs, supervisores, y sistemas de monitoreo.

II.5.3.1 Control Proporcional

La respuesta proporcional es la base de los tres modos de control, si los otros dos, control integral y control derivativo están presentes, estos son sumados a la

respuesta proporcional. **"Proporcional"** significa que el cambio presente en la salida del controlador es algún múltiplo del porcentaje del cambio en la medición. Este múltiplo es llamado "ganancia" del controlador, según [10]. Para la mayoría de los controladores, la acción proporcional se ajusta por medio de dicha ganancia.

En la referencia [9] se puede encontrar la ecuación (II.2) que es la expresión matemática que rige el control proporcional puro:

$$u(t) = K_p e(t) \tag{II.2}$$

donde:

u = Variable de control

e = Error de estado estacionario

K_p = Ganancia de control proporcional

La **Figura II.8** muestra la gráfica de respuesta temporal de un controlador con acción proporcional. Se puede ver que el error en estado estacionario decrece a medida que se incrementa la ganancia del controlador. Nótese también que la respuesta se hace más oscilatoria al incrementar la ganancia del controlador.

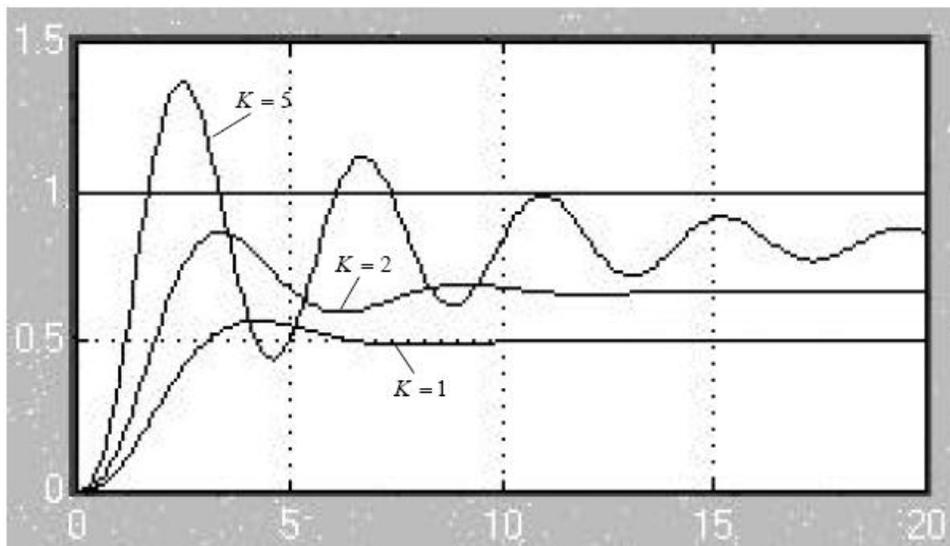


Figura II.8 Respuesta temporal de un controlador con acción proporcional. (Ver [11]).

II.5.3.2 Control Integral

Para casos en los que es necesario que no exista una diferencia de estado estacionario entre la medición y el valor de consigna, bajo todas las condiciones de carga, una función adicional deberá agregarse al controlador proporcional, esta función es llamada acción integral. Es decir, la función principal de la acción integral es asegurar que la salida del proceso concuerde con la referencia en estado estacionario, como se puede leer en [10]. De esta manera, cuando existe un error entre la medición y el valor de consigna, la acción integral hace que la salida comience a cambiar y continúe cambiando en tanto el error esté presente.

La ecuación (II.3) corresponde a la ley que rige la acción de control integral (obtenida de [9]):

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad K_i = \frac{1}{T_i} \quad (II.3)$$

donde:

u = Variable de control

e = Error de estado estacionario

K_i = Ganancia de control integral

T_i = Tiempo de control integral

La respuesta temporal de un controlador con acción proporcional integral (PI) se ilustra en la **Figura II.9**. La ganancia proporcional es $K_p = 1$ en todas las curvas. El caso de que T_i tome valores infinitos corresponde a un control proporcional puro. El error es eliminado cuando T_i toma valores finitos. Para valores grandes de T_i , la respuesta se desliza lentamente hacia la referencia. Este acercamiento es más rápido para valores pequeños de T_i ; pero es, también, más oscilatorio.

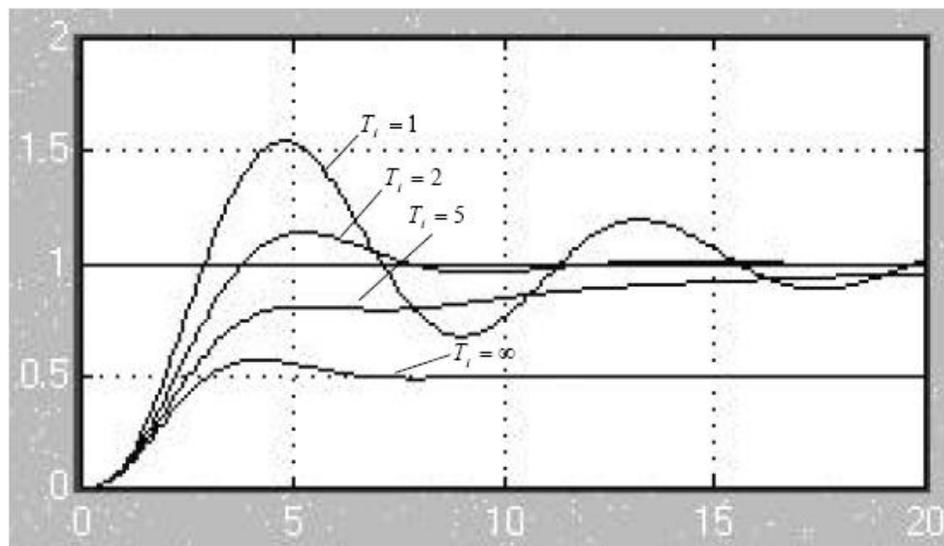


Figura II.9 Respuesta temporal de un controlador con acción proporcional e integral. (Ver [11]).

II.5.3.3 Control Derivativo

El tercer algoritmo que se puede encontrar en los controladores es la acción derivativa. Así como la respuesta proporcional responde al tamaño del error y la integral responde al tamaño y duración del error, el modo derivativo responde a cuán rápido cambia el error.

Existen diferentes mecanismos o procesos en los cuales, debido a la dinámica de los mismos, pasa algún tiempo antes de que la variable de control se note sobre la salida del proceso. De esta manera, el sistema de control tarda en corregir el error. La acción de un controlador con acción derivativa se puede interpretar como una predicción de la salida del proceso.

La salida derivativa es proporcional al régimen de cambio de este error. Cuanto mayor sea el cambio, mayor será la salida debido a la acción derivativa. La acción derivativa se mantiene mientras la medición esté cambiando. Tan pronto como la medición deja de cambiar, esté o no en el valor de consigna, la respuesta debido a la acción derivativa cesara. En general, la respuesta derivativa se mide en minutos. Este tiempo en minutos es el tiempo en que, la respuesta proporcional más la respuesta derivativa se adelantan a la respuesta resultante del valor proporcional solamente, como se puede leer en [9].

La ecuación (II.4) corresponde a la ley que rige la acción de control derivativo, la cual aparece en [10]:

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad K_d = T_d \quad (II.4)$$

donde:

u = Variable de control

e = Error de estado estacionario

K_d = Ganancia de control derivativo

T_d = Tiempo de control derivativo

La grafica de respuesta a la acción derivativa se ilustra en la **Figura II.10**, en la cual se muestra la simulación de un sistema con control PID. La ganancia del controlador proporcional y el tiempo para el control integral se mantienen constantes con $K_p = 3$ y $T_i = 2$, y se varía el tiempo derivativo T_d . Para $T_d = 0$ se tiene un control PI puro. El sistema de lazo cerrado es oscilatorio con los parámetros anteriores. Nótese que el sistema se hace menos oscilatorio en tanto que el tiempo derivativo se incrementa.

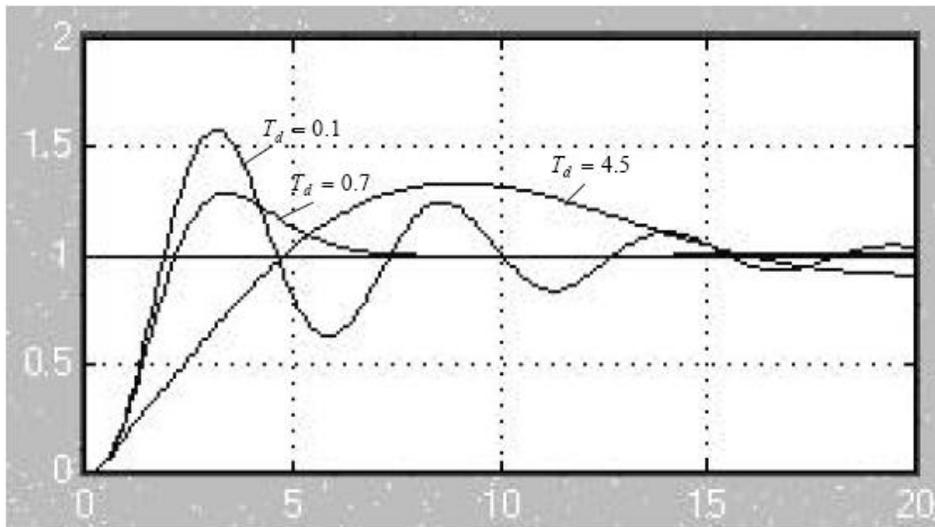


Figura II.10 Respuesta temporal de un controlador con acción proporcional, integral y derivativa. (Ver [11])

II.5.4 Criterio de Selección de la Ley de Control para Temperatura y Humedad Relativa

Cada proceso tiene una dinámica propia, única, que lo diferencia de todos los demás. Por lo tanto, a la hora de decidir qué ley de control particular (por ejemplo, **P** (Proporcional), **I** (Integral), **D** (Derivativo)) usar para un lazo de control o variable de proceso, debemos conocer la 'personalidad' del mismo. Por consiguiente, la utilización de una u otra ley se debe ajustar a la dinámica y a las exigencias propias del proceso en el cual hemos instalado un lazo de control, sea éste simple o complejo". Con base en las descripciones anteriores de las diferentes leyes de control, se elige ahora la que se usará para el sistema en cuestión.

Con respecto a esto, un primer aspecto a tener en cuenta es que las variables temperatura y humedad relativa tienen ambas un comportamiento similar dentro de un mismo ambiente controlado y, por lo tanto, se podría aplicar el mismo criterio de selección de la ley de control para las dos. Ahora bien, con referencia a las características de las variables se debe entender que las mismas tienen una dinámica lenta, lo que significa que tienen un comportamiento muy inercial y demoran en responder al sistema de control. Por lo tanto dicho sistema tendrá un retardo de tiempo antes de comenzar notar cambios en las variables de proceso.

Para elegir la ley de control hacemos referencia primeramente al control más simple que es el control Todo-Nada (On-Off). En este caso, dicho control consistiría sencillamente en mantener una válvula de agua fría (como se describirá más adelante) abierta mientras la temperatura existente sea superior a la programada. Es decir, mientras el valor de la variable de proceso tenga valores por encima del valor de consigna. Y en cerrarla en cuanto se iguale o supere.

El control Todo-Nada sólo es válido en aquellos procesos en donde la respuesta del valor de proceso es inmediata o muy rápida en relación al mecanismo de control (en este caso la válvula). Generalmente en los procesos que manejan temperatura y/o humedad relativa del ambiente, se presenta una inercia en el comportamiento del valor de la variable de proceso que hace que este siga cambiando aún después de haberse cerrado el mecanismo de control. En tales casos, un control Todo-Nada no sería adecuado pues se producirían grandes oscilaciones en el comportamiento del valor de proceso. Además un constante movimiento de apertura y cierre del elemento de acción final reduciría considerablemente su tiempo de vida, derivando este en problemas de

funcionamiento y en costos aumentados de mantenimiento o reemplazo del elemento en sí.

Una mejora con respecto al control Todo-Nada para este caso, consistiría en accionar el mecanismo de control de forma proporcional a la diferencia existente entre el valor real de la variable de proceso y el valor de consigna, de manera que cuanto más se aproxime estos valores, menor será la apertura de la válvula. En muchos procesos de “respuesta rápida” este tipo de control podría ser adecuado y no sería necesario un control PID, aunque este no es el caso. Sin embargo, el control proporcional sólo tiene en cuenta la distancia que existe entre los valores antes mencionados y no la velocidad con la que se aproximan o se alejan. En procesos en donde se presenta una gran inercia es necesario tener en cuenta este factor, pues con un control proporcional excesivo no se alcanzaría el valor de referencia y con un control proporcional ajustado se seguirían produciendo oscilaciones aún cerrando totalmente el mecanismo de control antes de alcanzar el dicho valor. Además, como se puede ver en **Figura II.8** un control proporcional nunca eliminará el error de estado estacionario, lo que significa que con este tipo de control el valor constante alcanzado por la variable controlada no será el valor de referencia, tendrá un “offset”.

Una acción integral se añade a la acción proporcional para vencer el offset producido al corregir el tamaño del error sin considerar el tiempo; pero el tiempo de duración de la señal de error es tan importante como su magnitud. Para este caso, la adición de un control de este tipo significaría la eliminación total del error de estado estacionario, aunque se debe tener en cuenta que, como se mencionó anteriormente, una eliminación demasiado rápida del error traería como consecuencia que el sistema se haga más oscilatorio.

Con lo mencionado hasta el momento un control proporcional integral (PI) podría ser adecuado para el sistema de este proyecto, más aún si se tiene en cuenta que no se requiere de un control exhaustivo o demasiado exigente. Ahora bien, si se toman en cuenta las características inerciales de las variables, se podría analizar la inclusión de un control derivativo al sistema. La acción derivativa entrega una señal proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error. Debido a esto, cuando la variable controlada está estable, la señal derivativa es cero. Cuando el valor de la variable controlada está cambiando, la señal derivativa toma valor. Por lo tanto, esta acción derivativa contribuirá a luchar contra la velocidad de respuesta de la variable, haciendo que el error se elimine más rápidamente. El control derivativo nos permite tener una mayor velocidad de corrección de las desviaciones del sistema y contribuye a una operación más estable y continua.

De lo anterior se puede resumir que un controlador proporcional integral podría utilizarse para este sistema, sin embargo se decide usar un controlador con acción proporcional, integral y derivativa, es decir, un control **PID**. Este control es más completo y ayudaría a estabilizar más rápidamente el valor de la variable de proceso al valor de referencia, eliminando por completo el error de estado estacionario en el menor tiempo posible.

II.6 Diseño de un Sistema con PLC

A la hora de realizar el diseño de un sistema con PLC se deben seguir ciertos pasos con el objetivo de garantizar un buen diseño, a saber (según se describe en [9]):

- Determinar que debe hacer el sistema controlado, cuando y donde.
- Determinar el tamaño requerido por el sistema, es decir, si será suficiente con una CPU o será necesario un adaptador de enlace para conectar varias CPU.
- Asignar, sobre el papel, todos los dispositivos de entrada y de salida a los puntos de E/S en la CPU y determinar que bits de E/S serán asignados a cada uno.
- Utilizando símbolos de diagramas de relés, escribir un programa que represente la secuencia de operaciones necesarias y su relación. Verificar también la programación de todas las respuestas apropiadas a todas las posibles situaciones de emergencia.
- Escribir en el PLC el programa y todos los datos necesarios.
- Depurar el programa, para eliminar primero los errores de sintaxis y para localizar luego los errores de ejecución.
- Cablear el PLC a los sistemas controlados.
- Probar el programa en una situación real de control y realizar los ajustes necesarios.
- Realizar dos copias del programa completo y guardarlas en diferentes lugares por cuestiones de seguridad.

II.7 Campos de Aplicación de los PLCs

Los PLCs por sus especiales características de diseño tienen un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y el software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan teniendo en cuenta sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización y otras acciones, por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo hasta procesos de automatización de edificios inteligentes.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su rápida utilización, modificación o alteración de los mismos, entre otros aspectos, hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

Entre las aplicaciones generales de los PLCs están presentes:

Maniobra de máquinas.

- Maquinaria industrial de muebles y madera.
- Maquinaria en proceso de grava, arena y cemento.
- Maquinaria en la industria del plástico.
- Maquinaria en procesos textiles y de confección.
- Maquinaria de ensamblaje.

Maniobra de instalaciones.

- Aire acondicionado y calefacción.
- Instalaciones de seguridad.
- Instalaciones de almacenamiento.
- Instalaciones de plantas embotelladoras.
- Instalaciones en la industria automotriz.

- Instalaciones de procesos térmicos.
- Instalaciones de edificios inteligentes.
- Instalaciones de plantas farmacéuticas, biotecnología y hospitales.

Señalización y control.

- Chequeo de programas.
- Señalización del estado del proceso.
- Alarmas.
- Diagnósticos de fallas.

II.8 Ventajas y Desventajas de los PLCs

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas, esto es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Producto de tales consideraciones es necesario hacer referencia a las ventajas que proporciona un controlador de tipo medio.

Ventajas.

- Menor tiempo empleado en la elaboración de los proyectos.
- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente se elimina parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores y distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin necesidad de cambiar el cableado ni añadir dispositivos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los controladores en sí mismos pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de manejar varios dispositivos con un mismo controlador.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo del cableado.
- Si por alguna razón el sistema de producción queda fuera de servicio, el PLC sigue siendo útil para otro.

Desventajas

En la realización de un proyecto cuando se tiene en cuenta cualquiera de las tecnologías de PLC existentes no se piensan en muchos inconvenientes dado que estos dispositivos son muy ventajosos, sin embargo un inconveniente puede ser la falta de un programador, lo que obligaría a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido. El costo inicial también puede ser uno de los inconvenientes presentes a la hora de la realización de un proyecto que requiera de esta tecnología.

Capítulo III

Unidad Manejadora de Aire

Una instalación de climatización es un complejo sistema electro-mecánico encargado de proporcionar confort a los ocupantes de uno o varios salones. Con una instalación de climatización se intenta conseguir un confort termo-higrométrico. Los diferentes sistemas de este tipo se abordaron anteriormente, así como las propiedades del aire que se pueden modificar mediante el uso de los mismos. Los controladores y la teoría de control necesaria para automatizar uno de estos sistemas también se puede leer en los capítulos anteriores.

Este capítulo hace referencia a la ingeniería básica existente sobre la cual se desarrolla este trabajo. Se hará referencia a las diferentes secciones y componentes que forman una Unidad Manejadora de Aire (UMA), así como al funcionamiento general del sistema de climatización que emplea una UMA y que es el principal elemento del sistema que se pretende automatizar en este trabajo.

III.1 Unidad Manejadora de Aire

De manera general se puede comenzar diciendo que se denominan Unidades Manejadoras de Aire a los equipos o aparatos que mueven el aire y lo tratan para conseguir adecuar sus características a las necesidades específicas de una instalación. Se ocupan de mantener caudales de aire sometidos a un régimen temperatura preestablecida. También se encargan de mantener la humedad dentro de valores apropiados, así como de filtrar el aire. Por sí mismas no producen calor ni frío; este aporte les llega de fuentes externas (caldera o máquinas frigoríficas) mediante tuberías de agua. Además constan de una entrada de aire exterior, un filtro, un ventilador, uno o dos intercambiadores de frío/calor, y un humidificador o deshumificador.

La unidad manejadora de aire es capaz de velar por dos parámetros elementales del aire acondicionado que se resumen en: humedad relativa bajo control y temperatura de confort. El objetivo de la UMA es suministrar un gran caudal de aire acondicionado para ser distribuido por una red de ductos instalada en la edificación en la cual la unidad se encuentra emplazada. La realización de todas estas funciones constituye el proceso mediante el cual se acondiciona el aire que es llevado a los espacios climatizados. Cada una de las secciones y elementos que componen una UMA se explican más adelante.

En referencia a los usos más generales es de estas unidades, se debe reconocer que han adquirido un gran popularidad en la mayoría de los sectores, principalmente donde el nivel de confort del usuario es crucial (oficinas, hoteles,

teatros, hospitales, etc.). Normalmente las UMAs se utilizan en la industria cuando, por la naturaleza del producto producido, se deben controlar especialmente las condiciones de humedad y temperatura de la planta, para que la calidad del producto no se vea afectada. Otras veces su implantación en estos sectores responde simplemente a criterios de confort.

Las principales industrias usuarias de estas unidades de climatización son:

- Industria Farmacéutica.
- Industria Alimentaria.
- Industria Química.
- Industria del Automóvil.
- Naves industriales, avícolas y ganaderas en general.

No obstante, casi todas las plantas tienen anexa una pequeña zona de oficinas, que normalmente necesitará de acondicionamiento de aire, independientemente del tipo de industria del que se trate.

III.2 Componentes de la Unidad Manejadora de Aire

El funcionamiento general de una UMA consiste en el paso sucesivo de una corriente de aire a través de sus distintas secciones y elementos, las cuales presentan diferentes elementos que son capaces de acondicionar el aire. A continuación se hará una descripción detallada de cada uno de estos elementos:

III.2.1 Carcasa

Es la encargada de envolver y proteger a todos los elementos internos. Debe asegurar la estanqueidad de la unidad, especialmente cuando se encuentra a la intemperie. Incluye compuertas de acceso para mantenimiento, normalmente construidas en aluminio o acero, que también deben tener un cerramiento estanco.

Estas carcasas están formadas por paneles de doble pared tipo “sándwich”, disponibles en diferentes espesores que, por lo general, oscilan entre 23 mm, 40 mm y 50 mm, dependiendo del tipo de diseño, como se muestra en la **Figura III.1**.

Estos paneles están formados por:

- Plancha exterior de acero galvanizado de 1 mm de espesor, prelacado con pintura poliéster y protegida con lámina de polietileno con el objetivo de hacerla más resistente a la corrosión (Descrito de [12]).
- Aislamiento interior formado por una lana de roca basáltica. Este material le proporciona al equipo aislamiento térmico y acústico, protección contra los factores ambientales, siendo muy resistente al agua. Además ofrece protección contra incendios ya que es un material no combustible y evita la transmisión del fuego a través de él, como se aprecia en [12].
- Plancha interior de acero galvanizado de espesor 0,6 mm. (Ver referencia [12]).

Estos paneles totalmente desmontables, aseguran condiciones aislantes homogéneas en toda la superficie externa de los cerramientos; a fin de evitar cualquier fuga entre el panel y la estructura del equipo, se coloca un burlete de goma en todo el perímetro del panel, los cuales forman una junta de goma flexible que hace la función de un sello impermeable entre los dos elementos en los que se instala, evitando así el paso del aire. Las puertas, completamente estancas, incorporan bisagras de aluminio y manijas preparadas para soportar una presión de 8.000 Pa. La junta de goma alrededor del marco de la puerta asegura la estanqueidad evitando fugas, según plantea la referencia [12]).

Las unidades de este tipo que se ubican a la intemperie, se suministran con una cubierta totalmente sellada en todas las juntas y con voladizo para evitar el deterioro de los paneles por motivos meteorológicos como la lluvia, sol, etc.; las tomas de aire van provistas de visera y malla.

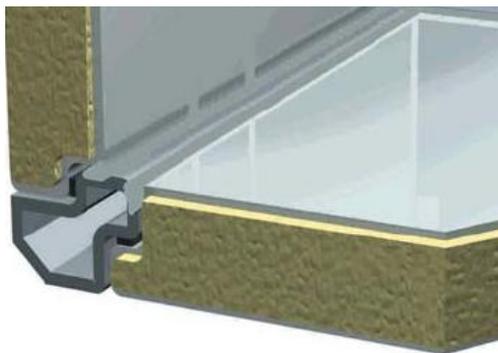


Figura III.1 Configuración interna de la carcasa. (Referencia [15]).

III.2.2 Sección de ventilación (grupo motor-ventilador)

Esta sección está formada por el ventilador de impulsión, el cual hace circular el aire a través de los diferentes elementos de la UMA para su acondicionamiento. Estos ventiladores por lo general son centrífugos de doble aspiración, fabricados en chapa de acero galvanizado, resistente a la corrosión. Dichos ventiladores pueden ser de dos tipos, dependiendo de su aplicación, estos pueden ser de álabes hacia adelante (acción) para presiones bajas o medias o hacia atrás (reacción) para presiones elevadas. Este elemento se describe en la referencia [12].

Según [13], estos diseños de los álabes están concebidos para minimizar las pérdidas por turbulencias del aire, obtener la mayor eficiencia posible en el aprovechamiento de la potencia acoplada y generar el mínimo nivel sonoro. Para aplicaciones como la que se trata en este proyecto por lo general se utilizan del primer tipo.

Como se describe igualmente en [13], las carcasas que componen a estos ventiladores, están formadas por dos paredes laterales con perfiles aerodinámicos y una envolvente curva continua. Un deflector de aire montado en la boca de descarga, evita la recirculación del aire dentro de la carcasa, de esta manera se eliminan las turbulencias y se logra un mejor funcionamiento.

Estos ventiladores presentan un eje saliente a ambos lados para incorporar la transmisión del conjunto, el cual es accionado por un motor eléctrico trifásico. En la **Figura III.2** se muestran las partes que conforman un ventilador centrífugo de doble aspiración y en la **Figura III.3** se muestra el conjunto motor-ventilador de una UMA.

Estos conjuntos se montan sobre bancadas de acero galvanizado las cuales a su vez se montan sobre anti vibradores los cuales se seleccionan según peso y distribución del equipo, se fabrican en caucho natural o metálico según modelo. También se instala una junta elástica en la boca de descarga a fin de evitar transmisiones cinéticas y sonoras.

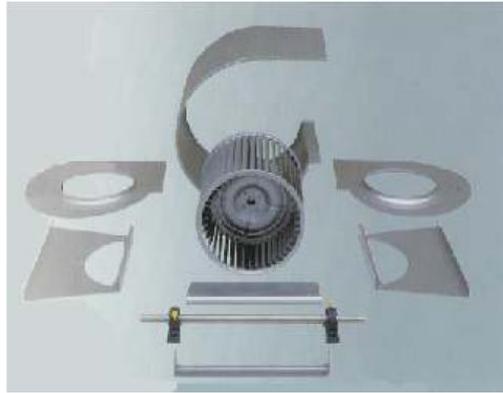


Figura III.2 Ventilador Centrífugo de Doble Aspiración. (Ver referencia [13]).



Figura III.3 Conjunto moto-ventilador de una UMA. (Ver referencia [13]).

III.2.3 Sección de Filtración

En esta sección se produce el filtrado por etapas del aire con el objetivo de liberarlo de impurezas y partículas que puedan ser nocivas para la salud de los ocupantes del espacio climatizado. Estos filtros eliminan las suspensiones sólidas y los gases indeseables, aumentando la calidad del aire.

El montaje de dichos filtros se realiza asegurando la estanqueidad entre filtro y bastidor. La disposición de los mismos se realiza según el número de etapas necesario para cada diseño. Se pueden tener hasta dos o tres etapas de filtración para zonas de mucha exigencia como pueden ser los quirófanos de un hospital,

salas blancas, etc., pero por lo general solo se emplea una etapa, como se puede apreciar en [14].

La primera etapa o etapa de pre filtrado está formada por filtros montados sobre bastidores metálicos y de una eficacia de un 90%. Estos filtros pueden ser o no desechables y se deben incorporar sondas de presión diferencial que detectan cuando los filtros están sucios y, en consecuencia, se debe proceder a su sustitución o limpieza. Esta etapa de pre filtrado se coloca en la entrada de aire o justo después de la sección de mezcla de aire de retorno con el aire renovado y antes de la sección de baterías.

Una segunda etapa podría incluirse a petición del cliente lo cual, evidentemente, depende de las características de uso del espacio a climatizar. Esta etapa se forma por filtros de una eficacia de hasta un 95%. Los filtros del segundo nivel de filtración deben colocarse como el último elemento de la unidad climatizadora, al comienzo del conducto de impulsión. Estos son filtros de bolsas, también llamados filtros de alta eficacia, se utilizan para la retención de sólidos de menor dimensión. De [12] se entiende que están formados por un panel de tipo polipropileno o fibra de vidrio plegado en “zigzag” para aumentar la superficie de filtración.

En las salas con exigencias ambientales especialmente elevada se precisa un tercer nivel de filtración. Los filtros de este último nivel de filtración se colocan en el propio difusor de impulsión de la sala, para recoger cualquier posible partícula proveniente de la red de conductos. Los filtros que se emplean en este nivel son los llamados filtros absolutos. Su construcción es similar a la de los filtros de bolsas, pero cuentan con un mayor número de pliegues. Tienen una eficacia de hasta el 99,9%, según [12].

En la **Tabla III.1** se muestra una relación de los diámetros de las diferentes partículas que habitan en el aire y los filtros capaces de impedir su paso.

Tabla III.1 Relación de partículas en el aire y filtros que las capturan. (Datos obtenidos de la referencia[14]).

Partículas en el aire	Tamaño [μm]
Virus	0.003-0.07
Bacterias	0.3-30
Moho	4-9
Esporas	10-30
Polen	10-100
Polvo fino	0.5-5
Polvo atmosférico	0.001-20
Humo de tabaco	0.01-1
Filtros comunes	1-100
Filtros de Alta Eficiencia	0.001-5

III.2.4 Sección de Baterías

En esta sección se produce el intercambio calorífico mediante el cual el aire se enfría o se calienta según las exigencias del sistema y además se acondicionan sus valores de humedad. Estas baterías pueden ser de diferentes tipos y su inclusión y orden en las que se disponen dependen de la aplicación del equipo.

Para la producción de aire frío o caliente, podemos encontrar en diferentes equipos baterías alimentadas por distintos fluidos térmicos. Estas pueden ser:

- Batería de agua: alimentada con agua proveniente de una planta enfriadora, caldera o bomba de calor.
- Batería con refrigerante (expansión directa): sistema autónomo con compresor.
- Batería de vapor (calefacción): alimentada por una línea de vapor.
- Batería eléctrica (calefacción): formada por resistencias eléctricas.

Con referencia ahora a [15], estas baterías se montan sobre un bastidor fabricado de acero galvanizado y sobre una bandeja de recogida de condensado, la cual es fabricada en acero inoxidable y que tiene un manguito de drenaje para eliminar el agua acumulada. Dichas baterías son fabricadas con tubos de cobre y aletas de aluminio. Cuando la unidad climatizadora esté instalada en ambientes en los que

el aire pueda contener elementos químicos corrosivos (por ejemplo en ambientes marinos) las aletas serán de cobre.

Para el acondicionamiento del aire en cuanto a temperatura y humedad se pueden emplear varios métodos, uno de ellos es una combinación de dos baterías dispuestas en serie: una de frío y otra de calor (la batería de frío deshumectaría mediante condensación de agua y a continuación la de calor recalentaría hasta la temperatura de impulsión de aire deseada), según [14].

Otro método es emplear una batería de primer tipo, de las antes mencionadas, alimentada con agua helada, como la que se muestra en la **Figura III.4** y para el control de la humedad del aire se emplea una batería de resistencias eléctricas.

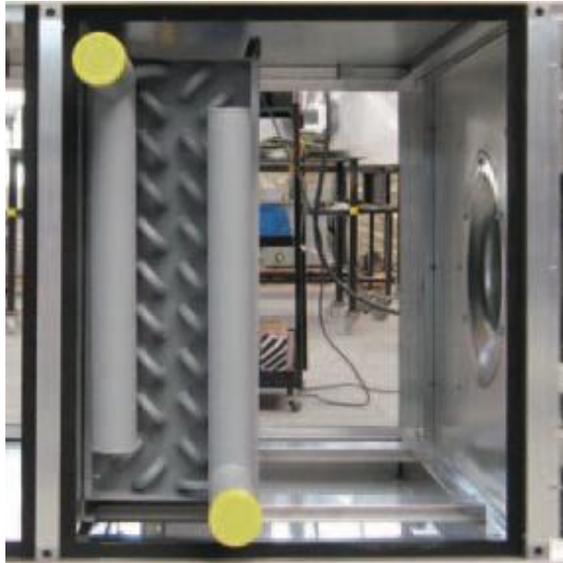


Figura III.4 Batería de enfriamiento alimentada por agua. (Ver [14]).

III.2.5 Silenciadores

La carcasa de las unidades climatizadores absorbe parte del ruido generado por el motor y las partes móviles, sin embargo la cara metálica interior de dicha carcasa impide el paso de parte del ruido hacia el absorbente, y ayuda a dirigirlo hacia los conductos. Por este motivo, se proveen los conductos de retorno y/o de impulsión del equipo con silenciadores. En la **Figura III.5** se muestra una sección de un conducto en el que se encuentra instalado un silenciador.

Estos silenciadores descritos en la referencia [14] son fabricados con paneles fonoabsorbentes de lana de roca basáltica, los cuales tienen una cara interior de chapa perforada galvanizada (absorbente). Esta cara está protegida por láminas impermeables, de material plástico, que ofrecen un buen compromiso entre la atenuación que se consigue y la facilidad de limpieza y para evitar la germinación de organismos directamente en la fibra del silenciador.

Estos silenciadores son diseñados de forma que la superficie del material de absorción que está en contacto con el flujo de aire sea lo más resistente posible a la abrasión. Así se evitará el posible desprendimiento de partículas del material de absorción. Estos silenciadores están formados por celdas que se colocan con cierta separación, según [12]. El número de celdas depende del tamaño del conducto, y la capacidad de atenuación viene determinada por la longitud de separación entre celdas.



Figura III.5 Silenciador instalado en una sección de un conducto de aire. (Ver [1]).

III.2.6 Caja de Mezclas

Esta sección comprende compuertas construidas en aluminio, sistema de alas contrapuestas y dotadas de una junta para su estanqueidad, opcionalmente provistas de accionamiento manual o motorizado. Estas compuertas se construyen en acero galvanizado, como se puede ver en [15].

En estas cajas se produce la mezcla entre el aire nuevo que proviene del exterior como parte del sistema de renovación de aire, y el aire de recirculación que proviene del conducto de retorno. En la **Figura III.6** se puede ver una UMA que presenta dos compuertas, una para el aire de retorno y otra para el aire renovado.



Figura III.6 Sección de mezcla de una UMA. (Ver [1])

III.2.7 Humificadores y Deshumificadores

Para aplicaciones en las que se requiere un control de humedad, se presentan dos posibilidades para humidificar el aire:

- Por panel adiabático: el aire circula a través de un panel celular de fibra de vidrio con agentes cerámicos, el cual es totalmente no combustible, de configuración ondulada y canales cruzados; al circular por estos paneles el aire absorbe agua, la cual es rociada sobre estos paneles mediante un sistema de bombeo incluido en el propio sistema humidificador. (Ver referencia [12]).
- Por vapor: añadiendo vapor saturado al aire. La generación del vapor se puede conseguir mediante electrodos ó resistencias sumergidas. (Ver referencia [12]).

Para otras aplicaciones en las que se requiere deshumificar el aire, como por ejemplo en ambientes climatizados con aire refrigerado, se emplean diferentes métodos entre los que se encuentran calentar parte del aire, ya sea con baterías de calentamiento o un método eléctrico (resistencias calefactoras); o emplear las propiedades de punto de rocío del aire, provocando un condensado que elimine la humedad.

III.3 Funcionamiento General del Sistema de Climatización

Como ya se explicó anteriormente, los sistemas basados en la distribución de aire son los denominados *Todo Aire*. En estos sistemas, el conducto actúa como elemento estático de la instalación, a través del cual circula el aire al interior del edificio, conectando todo el sistema: aspiración del aire exterior, unidades manejadoras de aire, locales de uso, retorno y evacuación del aire viciado. Los locales climatizados con este tipo de sistemas reciben el aire acondicionado de las unidades centrales, el cual pasa, del espacio climatizado, nuevamente a la UMA por medio de una red de conductos, como se muestra en la **Figura III.7**.

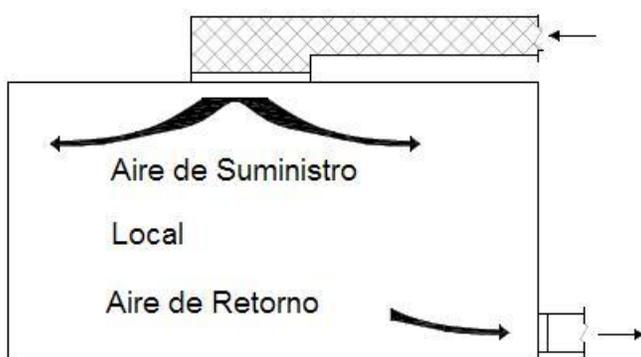


Figura III.7 Espacio climatizado con sistema *Todo Aire*.

La unidad climatizadora es el principal elemento de un sistema como el antes mencionado, tiene como función “acondicionar” el aire que va a ser suministrado hacia el interior del área climatizada. Por esta razón la UMA es un componente crítico del sistema de climatización de un área climatizada cualquiera, ya que debe garantizar unas condiciones térmicas adecuadas, así como un alto nivel de higiene.

El lugar de ubicación de las unidades manejadoras de aire debe estar próximo a las salas que van a tratar, de manera que el recorrido de los conductos de aire, desde el climatizador hasta la sala, sea lo más corto posible. De esta forma se minimizan las pérdidas de carga y los costes de la instalación. Las unidades climatizadoras pueden instalarse en el interior de una sala técnica o bien a la intemperie, en una zona de fácil acceso para las operaciones de mantenimiento necesarias, como se puede leer en la referencia [12].

En la **Figura III.8** se muestra el esquema de una UMA, en el se incluyen todas las partes que la componen y que fueron descritas previamente.

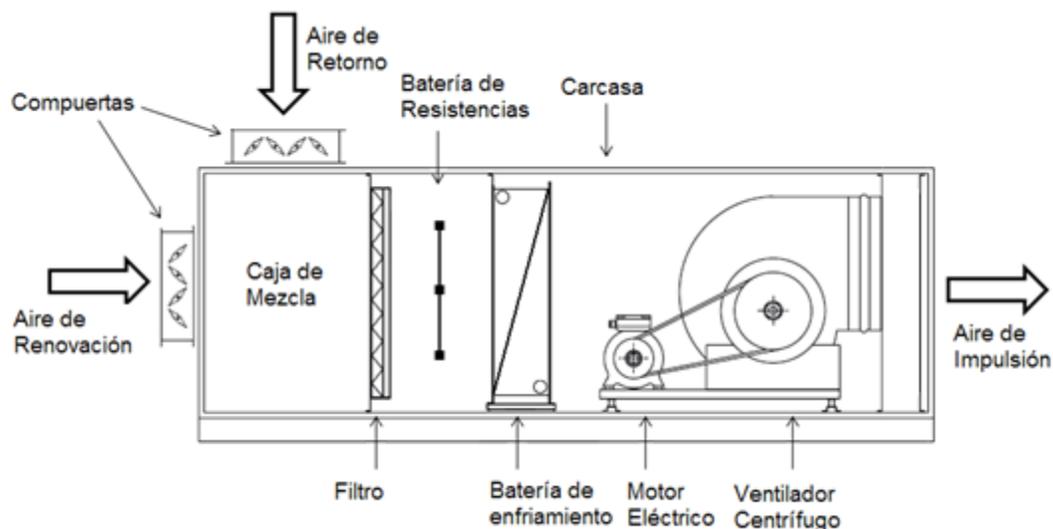


Figura III.8 Esquema de una UMA.

Se puede decir que el elemento principal de estas unidades es el ventilador centrífugo descrito anteriormente. Su función es hacer circular el aire por los diferentes componentes en el interior de la UMA, de manera que este pueda ser acondicionado. Una vez logrado esto, el mismo ventilador es el encargado de impulsar dicho aire hacia el espacio climatizado. Este ventilador es movido por un motor eléctrico, por lo general trifásico, también alojado en el interior de la unidad.

Estas unidades cuentan con una toma de aire proveniente del exterior el cual es fundamental para mantener la pureza del aire en el interior de las áreas climatizadas. Esta toma no debe situarse cerca de potenciales fuentes de contaminación, como chimeneas de calderas o cocinas o tubos de escape de grupos electrógenos, extracciones de campanas de laboratorios, tuberías de ventilación de bajantes de saneamiento, torres de recuperación, estacionamientos y zonas de espera de ambulancias o muelles de carga. Asimismo, la toma de aire exterior debe estar separada con relación al nivel del suelo y de las cubiertas o tejados, para no aspirar posible suciedad que se depositan en estos lugares. (Información obtenida de la referencia [12]).

Dicha toma de aire cuenta con una compuerta regulable (de manera manual o eléctrica) o que se fija con un porcentaje de apertura no variable, lo cual dependerá de las características del sistema. Esta compuerta ajusta el caudal de aire que penetra al sistema de climatización. De igual manera, la unidad dispone de una entrada de aire de retorno.

El ciclo de funcionamiento de esta unidad comienza cuando el ventilador aspira tanto el aire que viaja por el conducto de retorno y que proviene del interior de la

sala como el aire exterior que entra mediante la toma de aire renovado. Cuando ambos flujos de aire pasan al interior del sistema, lo hacen a la caja de mezclas. La mezcla de aires resultante trae como consecuencia la dilución de los contaminantes presentes en la sala, en el aire nuevo que va entrando, hasta que se garantiza una proporción aceptable desde el punto de vista de la higiene.

Dentro de un área climatizada puede producirse una transmisión de sustancias patógenas que viajarían de una persona a otra persona, o del ambiente a una persona, que pueden llegar a depositarse en heridas abiertas o en las vías respiratorias. Es por esta razón que el filtrado del aire tratado por el sistema de climatización es de vital importancia. Debido a ello, la siguiente etapa por la cual el aire es forzado a pasar, es precisamente la de filtrado.

Las dos siguientes secciones son las encargadas de alterar las propiedades temperatura y humedad relativa del aire. Primeramente, como se puede apreciar en la **Figura III.8**, se encuentra la batería de resistencias. La función de este componente es elevar la temperatura del aire, solamente lo suficiente como para que disminuya su humedad relativa.

La próxima etapa se encarga del enfriamiento. Estas unidades basan su principio de operación para acondicionar el aire, en el intercambio térmico que se produce entre el aire y un fluido refrigerante que pasa a través de una batería de enfriamiento. Este fluido, puede ser agua helada, la cual es impulsada por una bomba a través de una red de tuberías, desde equipos enfriadores de agua, hasta la batería de enfriamiento alojada en la UMA. Dicha batería se encuentra permanentemente húmeda, por lo que es un foco de fijación de polvo y de crecimiento de microorganismos, esta es la razón por la cual es muy importante que se pueda acceder fácilmente a su limpieza y que esta se realice periódicamente.

El intercambio térmico se produce cuando el aire pasa a través de las aletas de la batería y choca con los tubos de cobre, por los que circula el agua helada. En este momento el agua absorbe el calor del aire y como consecuencia este último se enfría. Producto de este cambio de temperatura que experimenta el aire, parte del vapor de agua que contiene se condensa y cae a una bandeja de condensado.

Una vez que el aire ha superado esta última sección, está listo para pasar al espacio climatizado, por lo que es enviado a los conductos de suministro. Este aire es el encargado de mantener la sala en cuestión dentro de los valores de confort e higiene para los cuales el sistema se ajuste. Cuando el aire se encuentre dentro de la sala, podrá comenzar nuevamente su ciclo de enfriamiento.

Para lograr la renovación del aire, los sistemas centralizados disponen de una salida de aire, la cual se instala al inicio de los conductos de retorno. Esta salida consta de compuertas que regulan igualmente la cantidad de aire que sale del espacio climatizado.

La **Figura III.9** muestra claramente un diagrama de funcionamiento del sistema antes descrito, el cual incluye una unidad manejadora de aire.

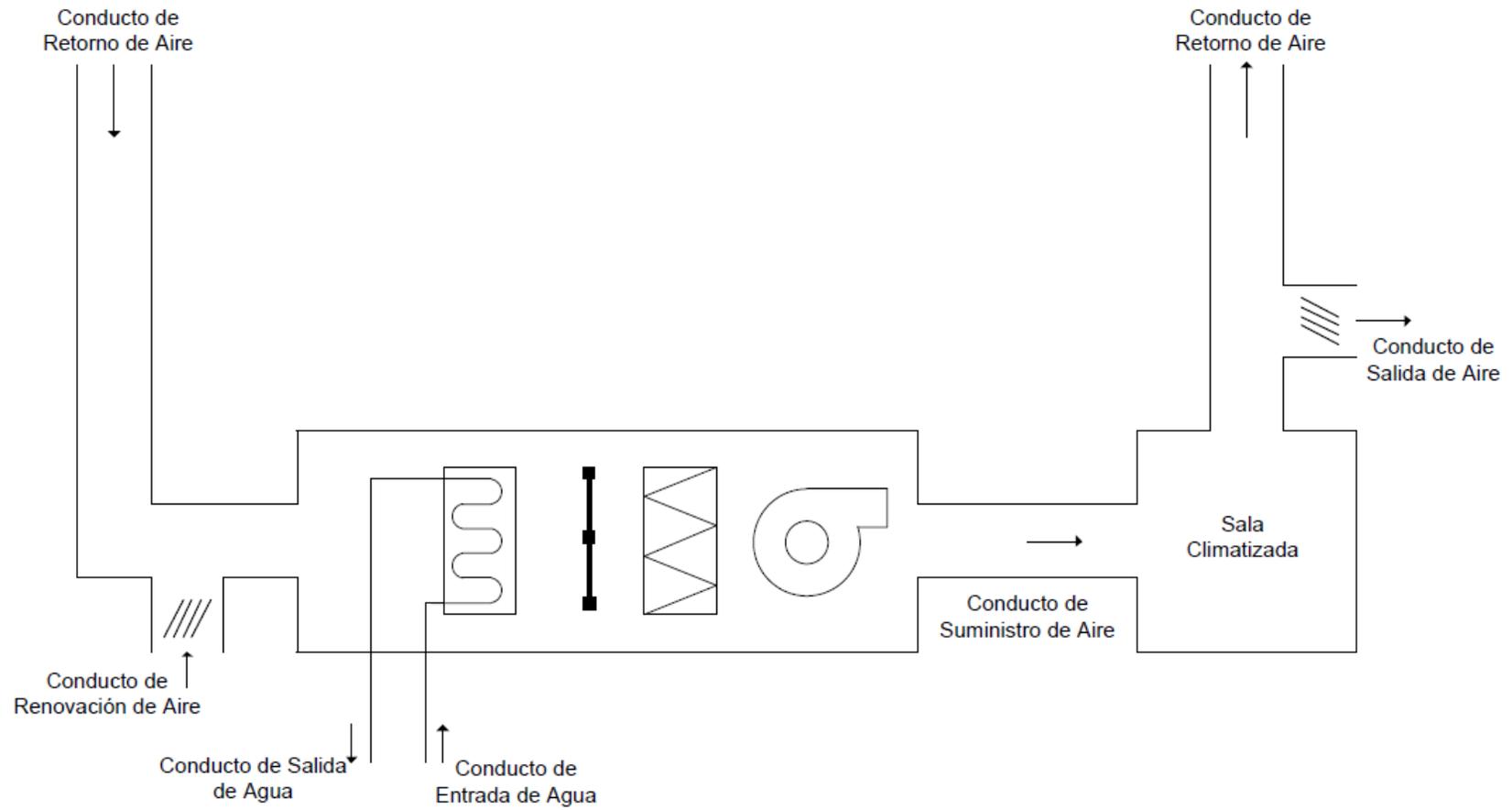


Figura III.9 Diagrama de funcionamiento general del sistema.

III.4 Unidad Manejadora de Aire “TECHNIVEL”

La unidad manejadora de aire con que cuenta la instalación fue seleccionada en base a las exigencias térmicas del local. Esta unidad es de procedencia española, fabricada y comercializada por la empresa “Tecnivel”. Sus principales especificaciones técnicas se listan a continuación [16]:

Sección de filtro:

- Tipo de filtro: Bolsa
- Eficacia: 90%

Batería de enfriamiento:

- Circuitos: 20
- Diámetro de los colectores: 50 mm
- Disminución de temperatura del aire: 11.6 °C
- Aumento de humedad relativa del aire: 11.8 %
- Temperatura de entrada del agua: 7 °C
- Temperatura de salida del agua: 12 °C

Ventilador:

- Tipo: Centrifugo de doble aspiración
- Velocidad: 1,500 rpm
- Caudal de aire: 13,402 m³/h
- Velocidad del aire: 2.18 m/s

Capítulo IV

Ingeniería para la Automatización del Sistema de Climatización

Conocimiento previamente de la ingeniería básica existente sobre la que se pretende trabajar, de las variables que se necesitan modificar, de los diferentes controladores disponibles en el mercado y las posibilidades que brindan, se puede decir que se tienen todos los elementos necesarios para comenzar a desarrollar el proyecto desde el punto de vista ingenieril.

En este capítulo se diseña la ingeniería que se propone para automatizar el sistema en cuestión. Para ello se describen los instrumentos y el controlador con los que ya se cuenta para la realización de este proyecto. Se encuentra además una descripción del funcionamiento automatizado del equipo. Se desarrolla también el diseño de los diagramas de interconexión de los diferentes instrumentos, la programación del PLC y la configuración de la HMI para llevar a cabo la automatización.

IV.1 Filosofía de Operación

A continuación se define la filosofía de operación según la cual debe trabajar el sistema. Esta filosofía marca el funcionamiento automatizado del sistema y, por tanto, el diseño debe hacerse en base a la misma.

IV.1.1 Control Temperatura y Humedad Relativa

En el área que se pretende climatizar se debe garantizar una temperatura de bulbo seco y una humedad relativa del ambiente que serán especificadas por el operador del sistema. Por lo general, para una zona de confort, estos valores deben encontrarse en el rango de $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para temperatura y para humedad relativa $55\% \pm 5\%$.

El control de temperatura se realiza con una válvula de tres vías con accionamiento eléctrico que regula el flujo de agua helada que pasa por el serpentín de enfriamiento, ubicado en la manejadora, esta agua tiene aproximadamente 7°C . Los valores reales de temperatura en el espacio climatizado son obtenidos con una sonda de temperatura que trabaja en un intervalo de medición de 0°C a 50°C . Dichos valores son transmitidos hacia un controlador, el cual que se encargará de generar la señal de control apropiada para estabilizar la temperatura a un valor previamente fijado.

La obtención de los valores de humedad relativa en la sala se realiza igualmente mediante una sonda de humedad relativa, instalada en el conducto de retorno de aire del sistema. La acción de control se realiza a través de una válvula de corriente eléctrica que recibe una señal de mando de 0 V c.c. a 10 V c.c. Dicha válvula regula la corriente que pasa por una batería de resistencias, que se encuentra alojada en la unidad manejadora de aire (UMA), permitiendo de esta manera disipar más o menos calor y obteniéndose por tanto una regulación continua de la variable humedad.

En el Anexo B, se puede encontrar una representación esquemática de la filosofía de operación establecida para el control de temperatura (Anexo B.1) y de humedad relativa (Anexo B.2) del sistema.

IV.1.2 Sistema de Movimiento, Enfriamiento y Filtración de Aire

El control del flujo de aire de suministro de la manejadora se realiza mediante un interruptor de flujo que se instala en el conducto principal de entrada hacia la sala. Este dispositivo indicará el momento en el que existe un flujo de aire mediante una señal que será enviada al PLC. Dicha señal se utilizará para detectar fallas en el funcionamiento del sistema.

La UMA presenta un filtro de aire. La óptima explotación de los filtros permite mantener el aire de suministro libre de impurezas. A dicho filtro se le incorporará un interruptor de presión diferencial de aire, este dispositivo mide la diferencia de presión que existe a ambos lados de dicho filtro. Una vez detectada dicha diferencia de presiones, la cual debe ser previamente ajustada, el instrumento enviará una señal indicando que el filtro necesita limpieza o mantenimiento.

De la misma manera se incluirá un interruptor de presión diferencial de agua. Este se instalará entre la entrada y salida del serpentín. Este dispositivo tiene un funcionamiento similar al anterior descrito. En este caso enviará la señal en el momento en las tuberías del serpentín se bloqueen.

De la misma manera que para el caso anterior, en el Anexo B, se puede encontrar una representación esquemática de la filosofía de operación de esta etapa del sistema (Anexo B.3).

IV.1.3 Sistema de Control y Monitoreo

El sistema cuenta con un Controlador Lógico Programable, el cual se encarga de recibir las señales provenientes de los diferentes dispositivos de medición montados en campo y de generar señales de control. Estas últimas dependen de la medición y del valor fijado al cual se desea estabilizar cada una de las variables. Tiene también la función de generar alarmas para situaciones de funcionamiento inapropiado.

Este dispositivo se encontrará instalado en un panel de control, dicho panel maneja todas las señales de entrada/salida de todos los dispositivos y las conexiones de alimentación del sistema. Dicho panel se encuentra en un cuarto de control y estará conectado a un sistema de monitoreo HMI, el cual da la posibilidad de ajustar los valores de cada una de las variables controladas (temperatura y humedad), monitorear los estados de alarma del sistema, visualizar los valores reales de las variables de proceso etc.

IV.2 Instrumentos del Sistema

A continuación se dará una breve descripción de cada uno de los instrumentos que se incluyen en el sistema para llevar a cabo su automatización. Se describen también algunas características de los mismos.

Es importante destacar que para el desarrollo de este proyecto ya se cuenta con los instrumentos, sin embargo la posible futura implementación del sistema desarrollado no se encuentra limitada a utilizar específicamente estos elementos, pueden ser cambiados por otros con características similares.

IV.2.1 Elementos Primarios de Medición

IV.2.1.1 Transmisor de Temperatura y Humedad Relativa

En la referencia [17] se pueden encontrar los datos técnicos correspondientes al transmisor de temperatura y humedad relativa usado en este proyecto. Dichos detalles se resumen a continuación.

Fabricante:

Siemens

Modelo:

QFM2160

Aplicación:

En instalaciones de ventilación y aire acondicionado, para mejorar el confort del ambiente y optimizar el consumo de energía, proporcionando ventilación controlada en función de la demanda.

La sonda obtiene:

- La humedad relativa del ambiente.
- La temperatura ambiente.

Los lugares de aplicaciones típicos son:

En salas de fiestas, salas de espera, pabellones de exposición y salas de exhibición, restaurantes, cantinas, centros comerciales, gimnasios, salas de venta, salas de conferencias, museos, teatros, cines, auditorios, oficinas, etc.

Principio de funcionamiento:

Este dispositivo cuenta con una sonda, la cual obtiene la humedad relativa del ambiente con un elemento sensible capacitivo de humedad, cuya capacitancia varía en función de la humedad relativa. Un circuito de medida electrónico convierte la señal del elemento sensible en una señal continua de 0 V c.c. a 10 V c.c., correspondiente al rango de humedad relativa de 0% a 100 %.

Para obtener los valores de temperatura, este sensor basa su funcionamiento en un hilo conductor de platino muy fino, el cual presenta una resistencia que depende linealmente de la temperatura. En el caso de la PT100, su valor es de 100 Ω a 0 °C. Esta variación es convertida en una señal de salida activa de 0 V c.c. a 10 V c.c.

Datos técnicos generales:

- Tensión de alimentación: 24 V c.a. 50/60 Hz.
- Alcance de medida de temperatura: 0 °C a 50 °C.

- Señal de salida lineal de temperatura: 0 V c.c. a 10 V c.c. \approx 0 °C a 50 °C.
- Alcance de medida de humedad relativa: 0% a 100%
- Señal de salida lineal de humedad relativa: 0 V c.c. a 10 V c.c. \approx 0% a 100%

Montaje e instalación:

En la pared interior de los conductos de aire, nunca tras cortinas, encima o cerca de fuentes de calor ni expuestas a la luz directa de focos. La sonda no debe exponerse a radiación solar directa.

IV.2.1.2 Interruptor de Presión Diferencial de Aire

En la referencia [18] se pueden encontrar los datos técnicos correspondientes al interruptor de presión diferencial de aire usado en este proyecto. Dichos detalles se resumen a continuación.

Fabricante:

Siemens

Modelo:

QBM81

Aplicación:

Los interruptores de presión diferencial se usan para monitorear la diferencia de presión, depresión y sobrepresión en instalaciones de ventilación y aire acondicionado. Mediante la medición de la presión diferencial se detectan el estado de los filtros de aire, caudales de aire primario y sobrepresión en salas limpias, zonas presurizadas, cocinas, etc.

Principio de funcionamiento:

Este dispositivo basa su funcionamiento en dos cavidades, una de alta presión y otra de baja presión, separadas por una placa que se mueve oponiéndose al empuje de un resorte. El instrumento se ajusta (mediante un pequeño tornillo) para que la placa recorra una distancia que corresponde a la diferencia de presión que

se desea monitorear. Al ser recorrida esta distancia se cierra un circuito eléctrico lo cual genera una señal indicadora.

Datos técnicos generales:

- Intervalo de medición: 100 Pa a 1000 Pa.
- Tipo de conmutador: Cambio de régimen de polo único.
- Señal del conmutador: 24 V c.a /c.c.
- Temperatura de operación: -20 °C a +85 °C
- Humedad relativa de operación: < 90 %.

Montaje e instalación:

El interruptor de presión diferencial es adecuado para su montaje en conductos de aire o paredes. La orientación recomendada es la vertical, pero en principio es aceptable cualquier orientación. Los tubos de conexión de presión pueden ser de cualquier longitud, pero el tiempo de respuesta aumentará si son de más de 2 metros. El interruptor deberá montarse de modo de que quede por encima de las tomas de presión.

IV.2.1.3 Interruptor de Presión Diferencial de Agua

En la referencia [19] se pueden encontrar los datos técnicos correspondientes al interruptor de presión diferencial de agua usado en este proyecto. Dichos detalles se resumen a continuación.

Fabricante:

Omega

Modelo:

PSW-181

Aplicación:

Los interruptores de presión diferencial de agua se usan para monitorear la diferencia de presión, depresión y sobrepresión en dispositivos por los que circula diferentes fluidos, como por ejemplo los serpentines en sistemas de aire

acondicionado. Mediante la medición de la presión diferencial, detectan el estado de estos serpentines.

Principio de funcionamiento:

Este dispositivo basa su funcionamiento en un diafragma de dos cavidades, una de alta presión y otra de baja presión, separadas por una placa que se mueve oponiéndose al empuje de un resorte. El instrumento se ajusta (mediante un pequeño tornillo) para que la placa recorra una distancia que corresponde a la diferencia de presión que se desea monitorear. Al ser recorrida esta distancia se cierra un circuito eléctrico lo cual genera una señal indicadora.

Datos técnicos generales:

- Intervalo de medición: 0 psi a 150 psi.
- Tipo de conmutador: Cambio de régimen de polo único.
- Temperatura de operación: -0 °C a +70 °C
- Humedad relativa de operación: < 90 %.

Montaje e instalación:

El interruptor de presión diferencial es adecuado para su montaje sobre tuberías o paredes, en cualquier caso debe asegurarse que las vibraciones no sobrepasen los valores dados por el fabricante. La orientación recomendada es la vertical. El interruptor deberá montarse de modo de que quede por encima de las tomas depresión.

IV.2.1.4 Interruptor de Flujo de Aire

En la referencia [20] se pueden encontrar los datos técnicos correspondientes al interruptor de flujo de aire usado en este proyecto. Dichos detalles se resumen a continuación.

Fabricante:

Johnson Controls

Modelo:

F61

Aplicación:

Estos dispositivos detectan el flujo de aire o la ausencia de flujo de aire dentro de un conducto. El control puede cablearse de manera que abra o cierre un circuito con fines de señalización o interbloqueo. Entre las aplicaciones típicas se incluyen sistemas de aire de relleno, procesos de enfriamiento y calentamiento de aire y sistemas de escape.

Principio de funcionamiento:

Este dispositivo está provisto de un remo o paleta, el cual puede ser ajustado en tamaño dependiendo de las características del sistema en el que se instale. Dicho remo, en una correcta instalación, se opone a la dirección del flujo de aire, lo cual provoca un movimiento del remo y el cierre de un circuito eléctrico que genera una señal. El instrumento dispone de un pequeño tornillo mediante el cual se ajusta el recorrido del remo, esto último dependerá de la mínima velocidad del aire que se desea monitorear.

Datos técnicos generales:

- Longitud máxima del remo: 174.23 mm
- Temperatura máxima de operación: 40 °C
- Velocidad máxima de aire: 10 m/s

Montaje e instalación:

En conductos de aire de suministro, de manera que el remo se oponga al flujo de aire. Se debe instalar en secciones rectas del conducto de aire y nunca cerca de curvaturas del mismo.

IV.2.2 Elementos de Acción Final

IV.2.2.1 Válvula de Tres Vías

En la referencia [21] se pueden encontrar los datos técnicos correspondientes a la válvula de tres vías usada en este proyecto. Dichos detalles se resumen a continuación.

Fabricante:

Siemens

Modelo:

VXG41.50

Aplicación:

En instalaciones pequeñas o medianas de calefacción, ventilación y aire acondicionado en calidad de válvula de control con funciones mezcladora y diversora.

Principio de funcionamiento:

Estas válvulas permiten regular el paso del fluido. La apertura y cierre de la válvula se realiza mediante el movimiento de un vástago, el cual dispone de un tapón obturador en su extremo. Dicho vástago se desplaza axialmente, regulando o interrumpiendo el flujo.

Datos técnicos generales:

- Tipo: Tapón
- Asiento: Simple
- Material del cuerpo/vástago: Bronce/Acero Inoxidable
- Diámetro Nominal: 50 mm
- Carrera nominal de vástago: 20 mm
- Temperatura de trabajo del medio: -25 °C a +140 °C

Montaje e instalación:

La válvula puede montarse fácilmente en el lugar de montaje. No se necesitan herramientas ni ajustes especiales. Se debe instalar de manera que su vástago quede en un ángulo de entre 0° y 180° con respecto a la dirección horizontal, nunca superior. Puede instalarse en modo mezcladora o diversora de flujo.

IV.2.2.2 Actuador para Válvula de Tres Vías

En la referencia [22] se pueden encontrar los datos técnicos correspondientes al actuador para válvula de tres vías usado en este proyecto. Dichos detalles se resumen a continuación.

Fabricante:

Siemens

Modelo:

SQX62

Aplicación:

Para accionar válvulas Siemens de las series tipo VVF..., VVG41..., VXF... y VXG41... con recorrido de 20 mm para el control del paso de agua refrigerada, agua caliente a baja y alta temperatura en los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Principio de funcionamiento:

Este dispositivo controla el movimiento de apertura o cierre de la válvula a la cual se le acople. Recibe una señal de control eléctrica proveniente de un controlador. Dicha señal, mediante un circuito electrónico alojado en el interior del actuador, acciona un motor eléctrico que genera el recorrido deseado del vástago.

Datos técnicos generales:

- Tensión de alimentación: 24 V c.a. 50/60 Hz.
- Señal de entrada para control: 0 V c.c. a 10 V c.c.
- Carrera nominal del vástago: 20 mm
- Tiempo de carrera: 35 s
- Fuerza de posicionamiento: 700 N
- Temperatura de trabajo del medio: -25 °C a +140 °C

Montaje e instalación:

Acoplado al vástago de la válvula de tres vías. Es de fácil montaje y se debe instalar de manera que la consola del actuador quede en un ángulo de entre 0° y 180° con respecto a la dirección horizontal, nunca superior.

IV.2.2.3 Válvula de Corriente Eléctrica

En la referencia [23] se pueden encontrar los datos técnicos correspondientes a la válvula de corriente eléctrica usada en este proyecto. Dichos detalles se resumen a continuación.

Fabricante:

HBControls

Modelo:

HRT-25HDS

Aplicación:

La válvula de corriente se usa para el control de elementos eléctricos de calefacción en instalaciones de calefacción, ventilación y aire acondicionado, por ejemplo:

- Baterías eléctricas de calor
- Ventilador-convectores (fan-coils)
- Unidades de inducción
- Radiadores eléctricos
- Sistemas de calefacción por suelo o techo radiante
- Recalentadores en ventilador-convectores y conductos de aire de impulsión
- Calefactores convectores y calefacción por paneles

Principio de funcionamiento:

La válvula de corriente es un interruptor de potencia de estado sólido (tiristor) que regula la cantidad de energía eléctrica suministrada al equipo de calefacción conectado. Este dispositivo entrega una señal sinusoidal de corriente alterna controlada por el principio de control por ángulo de fase. Dicho principio consiste en retardar, más o menos, la señal de disparo del tiristor. En este equipo el

conmutador de salida se deshabilita cada vez que la señal de salida cruza el cero. Por tanto a mayor tiempo de retardo, menor es la energía que recibe la carga. El control se realiza mediante una señal de 0 V c.c. a 10 V c.c. proveniente del controlador.

Datos técnicos generales:

- Tensión de alimentación: 24 V c.a. 50/60 Hz.
- Tensión de señal de control: 0 V c.c. a 10 V c.c.
- Temperatura de operación: -5 °C a +70 °C
- Humedad relativa de operación: < 95 %.

Montaje e instalación:

El equipo debe instalarse de modo que se pueda garantizar que se mantendrán las condiciones ambientales permitidas. Puede ser instalada en gabinetes o paneles de fuerza, para este caso se debe verificar que existe suficiente ventilación.

IV.3 Controlador Lógico Programable (PLC)

El controlador que se utilizará para el desarrollo de este proyecto es de fabricación LG. Dicho fabricante cuentan con una extensa gama de productos de los cuales se ha seleccionado el controlador más adecuado, así como los módulos de expansión necesarios, para la automatización del sistema en cuestión. Las principales características de este controlador se describen a continuación.

Se debe destacar que la posibilidad de utilizar otros controladores es completamente válida para la implementación de este proyecto, sin embargo se ha seleccionado al fabricante LG debido a las siguientes razones:

- La buena relación calidad-precio de sus productos.
- La facilidad de compra de estos productos brindada por LG al Gobierno Cubano.
- El hecho de que cubre las necesidades de automatización del sistema.

IV.3.1 Características Principales del PLC

En la referencia [24] se pueden encontrar las características principales del PLC usado en este proyecto. Dichos detalles se resumen a continuación.

De la gama de controladores LG, la serie escogida ha sido Master-K 120S, modelo K7M-DR20U, de la cual se presentará a continuación sus características principales.

Unidad Principal:

El controlador Master-K 120S, dada su configuración física puede considerarse como un dispositivo modular y como todos los de su género, presenta la posibilidad de ser expandido según las necesidades del usuario.

Datos técnicos generales:

- Entradas : 12 digitales
- Salidas: 8 a relevador
- Temperatura de trabajo: 0 °C a +55 °C.
- Temperatura de almacenamiento: -25 °C a +70 °C.
- Humedad ambiente de operación y de almacenaje: 5 % a 95 %.
- Vibraciones de operación que soporta: 57 Hz a 150 Hz.
- Atmósfera de trabajo: libre de gases corrosivos y de exceso de polvo.

La unidad principal del controlador está compuesto por:

- Unidad de Procesamiento Central (CPU).
- Terminales de entrada y salida (I/O).
- LED indicadores de las entradas y las salidas.
- Conector RS-485 para la comunicación.
- Conector estándar de LG para permitir la expansión del controlador.
- Interruptor para la selección del modo de operación.

Esta serie de controladores cuenta con una amplia gama de módulos de expansión para satisfacer las diferentes necesidades de los clientes. Entre ellos se encuentran los módulos de expansión entradas/salidas digitales, los módulos de comunicación y los módulos especiales. Para esta realización solo será necesario emplear módulos especiales los cuales se listan a continuación.

Relación de los módulos especiales:

- G7F-ADHA, módulo compuesto por convertidores A/D y D/A.
- G7F-ADHB, módulo compuesto por convertidores A/D y D/A.
- G7F-DA2I, módulo de convertidor D/A.
- G7F-DA2V, módulo de convertidor D/A.
- G7F-AD2A, módulo de convertidor A/D.
- G7F-AT2A, módulo de temporizador analógico.
- G7F-RD2A, módulo de entrada RTD.

De los módulos especiales anteriores se utilizarán el convertidor G7F-AD2A, el cual cuenta con cuatro canales de entrada y será empleado para permitir las entradas analógicas del sistema al PLC. Igualmente para proporcionar las salidas analógicas hacia los elementos finales de control, se empleará el módulo G7F-DA2V.

IV.4 Diseño de los Diagramas de Conexiones para Paneles de Control y Fuerza del Sistema

Para llevar a cabo la interconexión de los elementos que intervienen en el proceso de automatización, se hace necesario desarrollar el diseño de los diagramas de conexión, tanto para la etapa de control de las variables de proceso como para energizar y desenergizar las parte electromecánicas de la UMA. En este epígrafe se hace una explicación detallada de estos diagramas.

IV.4.1 Listado de Entrada/Salida del Sistema

Para la realización de los diagramas de conexión antes mencionados, primero es necesario conocer la cantidad de entradas y salidas que debemos manejar, así como su tipo. Para ello se realiza un listado con el cual se dimensiona el sistema de control y sirve de guía a la hora de realizar las interconexiones. La **Tabla IV.1** muestra dicho listado.

Tabla IV.1 Listado de señales Entrada/Salida para control del sistema.

Señal	E/D	S/D	E/A	S/A	Elemento de Campo
Arranque/Paro del Ventilador		1			Contactador (KM1)
Estado del Ventilador	1				Contacto Aux. (KM1)
Alarma Sobrecorriente del Ventilador	1				Contacto Aux. (Q2)
Accionamiento Banco de Resistencias		1			Contactador (KM2)
Estado Banco de Resistencias	1				Contacto Aux. (KM2)
Alarma Sobrecorriente del Banco Resistencias	1				Contacto Aux. (Q3)
Alarma Filtro de Aire	1				Interruptor Presión Diferencial Aire
Alarma Serpentin	1				Interruptor Presión Diferencial Agua
Alarma Flujo de Aire	1				Interruptor Flujo Aire
Lectura de Temperatura			1		Sonda de Temperatura
Regulación de Válvula de Tres Vías				1	Actuador Válvula de Tres Vías
Lectura de Humedad Relativa			1		Sonda de Humedad Relativa
Regulación de Banco de Resistencias				1	Válvula de Corriente Eléctrica
TOTAL	7	2	2	2	13

IV.4.2 Diseño de los Diagramas de Conexiones para Panel de Control

El panel de control estará compuesto por los elementos que garantizarán el control a través de las señales antes listadas, permitiendo el trabajo de manera automática y la supervisión del funcionamiento del sistema. Dichos elementos se relacionan a continuación y se encuentran arreglados, como muestra la **Figura IV.1**, en una manera para su colocación en un Gabinete de Control.

Los elementos que conforman el tablero de control son los siguientes:

1. Interruptor Magneto-Térmico Principal.
2. Transformador Reductor.
3. Fuente de Alimentación Externa.
4. Relé de Control Maestro.
5. Controlador Lógico Programable Master-K 120S K7M-DR20U.
6. Modulo G7F-AD2A. Conversor A/D.
7. Modulo G7F-DA2V. Conversor D/A.
8. Bloque de Clemas de Conexión.

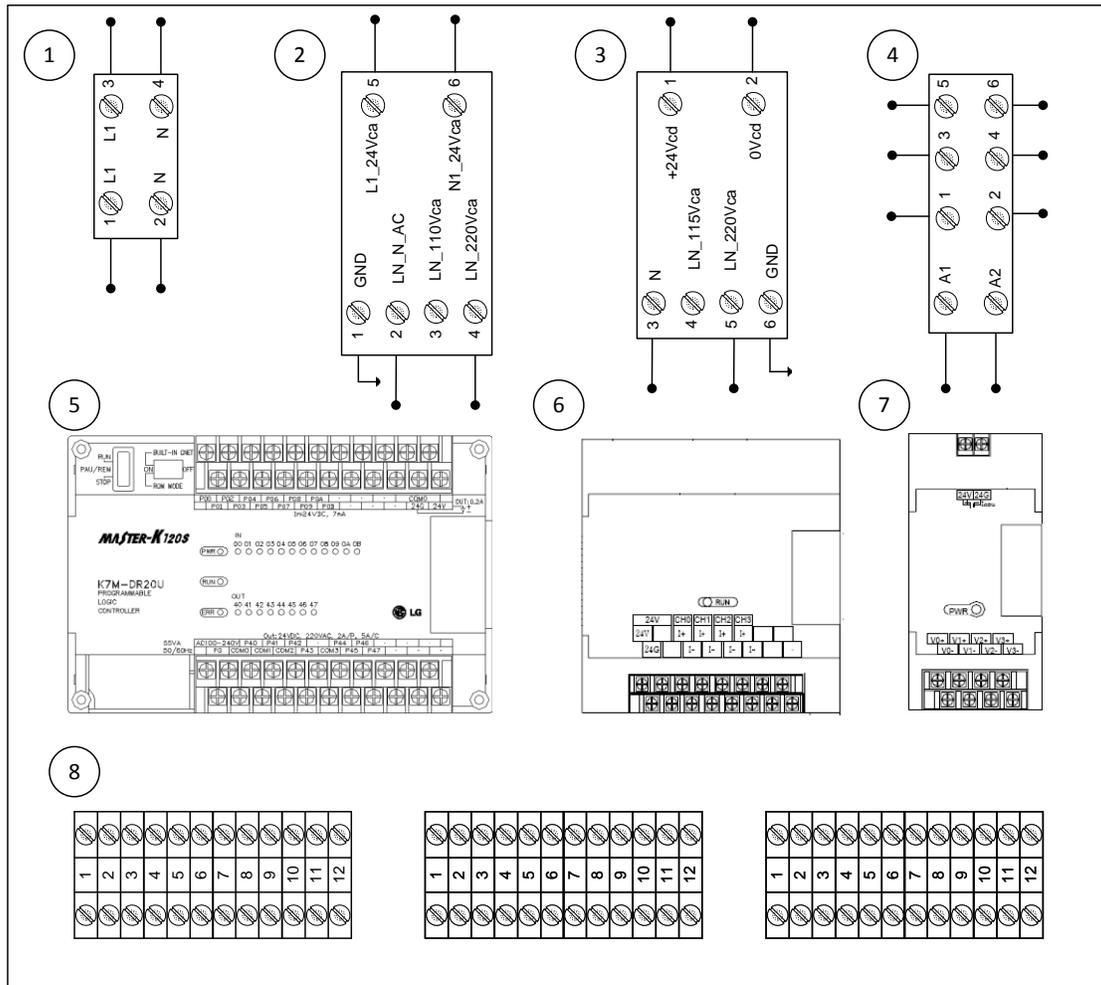


Figura IV.1 Distribución de los elementos que componen en panel de control.

IV.4.2.1 Diseño del Diagrama General de Conexiones de Alimentación del Panel de Control

Para la conexión de los dispositivos primeramente se necesita proveerlos de energía eléctrica, y esto conlleva a que es necesario protegerlos de posibles fallas en la red de alimentación para evitar que se dañen. El primer esquema que se muestra, **Figura IV.2**, es un diagrama de conexiones eléctricas donde se muestran los buses de alimentación eléctrica a diferentes dispositivos.

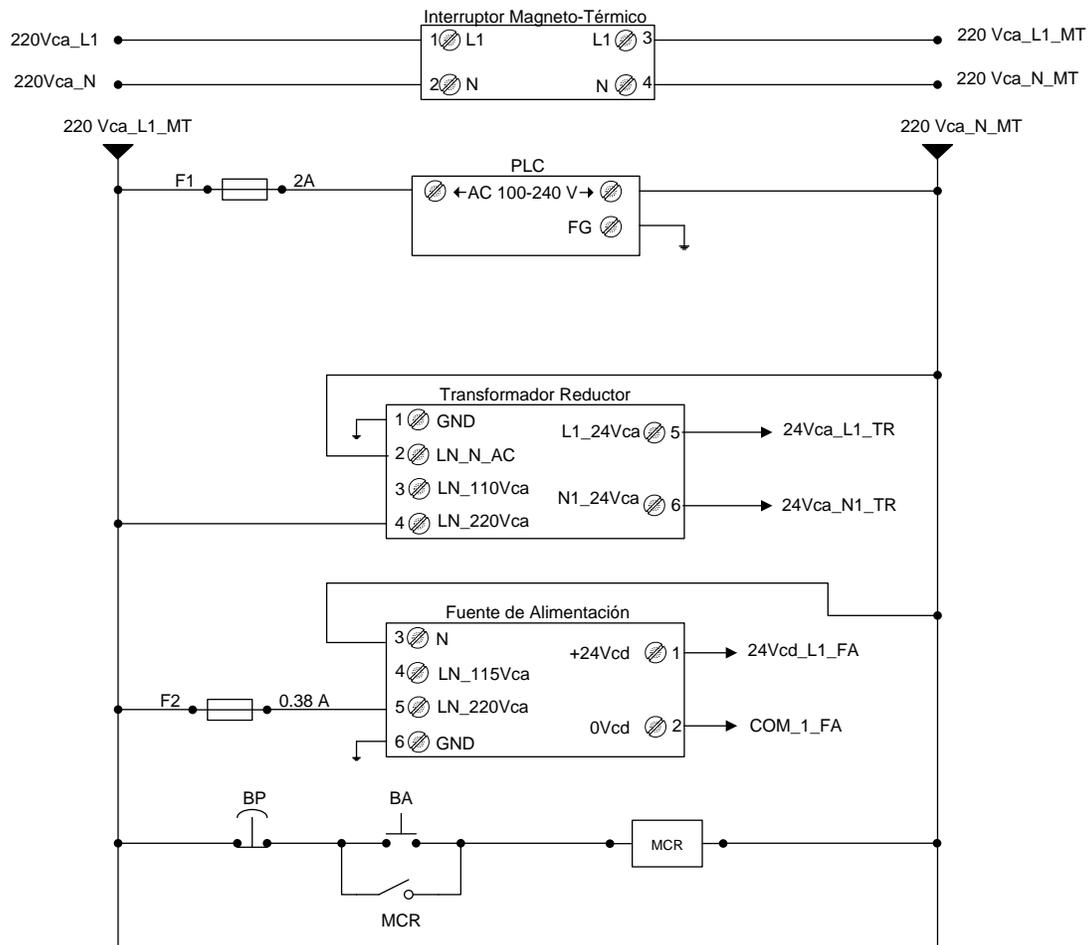


Figura IV.2 Diagrama principal de alimentación eléctrica.

El primer elemento que aparece representado es un Interruptor Magneto-Térmico, el cual tiene como principal función la protección contra cortocircuitos del controlador, el Transformador y la Fuente de Alimentación. A este interruptor se le conectará una línea de 220 V de corriente alterna en su entrada y se obtiene una línea protegida en su salida de igual valor. Esta última será la línea de alimentación principal del panel. Una vez que el dispositivo registre un sobre consumo en la línea de carga, se interrumpirá la línea de alimentación, protegiendo así los demás elementos.

El primer dispositivo a alimentar es el PLC, en este diagrama solo aparece representada la sección de la fuente de alimentación del mismo. Este equipo brinda la posibilidad de ser conectado directamente a la línea de corriente alterna, aunque se protege adicionalmente mediante un fusible F1.

A continuación encontramos un Transformador Reductor, el cual tiene la función de transformar los 220 V de corriente alterna de entrada en 24 V de corriente alterna a su salida. Estos buses que se generan a partir del transformador se usarán para suministrar energía en corriente alterna a los elementos de campos que así lo requieran.

El siguiente elemento representado en el diagrama es una Fuente de Alimentación Externa. Este dispositivo se conecta a la línea de alimentación principal y garantiza una salida de 24 V de corriente directa. A partir de esta fuente se alimentarán eléctricamente los dispositivos de campo de entrada y salida del sistema de control que requieren corriente directa. El fusible F2 protege la Fuente de Alimentación para evitar daños de la misma por cortocircuitos.

Dimensionamiento de la Fuente de Alimentación Externa

Para la selección de esta fuente, en una futura implementación práctica del sistema, es necesario tener en cuenta la carga eléctrica que debe soportar. A continuación se hace un dimensionamiento de este dispositivo, considerando las características eléctricas de los elementos de campo.

Los elementos que se alimentan de la Fuente de Alimentación Externa se encuentran relacionados en la **Tabla IV.2**. Es importante destacar que, aunque se utilizan dispositivos de campo, que por su propia naturaleza no consumen energía (interruptores y contactos auxiliares), deben dejar circular un mínimo necesario de corriente eléctrica para que la entrada del PLC se active. Esta corriente debe ser proporcionada por la Fuente de Alimentación y por tanto, forma parte de la carga total de la misma. El valor dicha corriente depende de las características técnicas del controlador que se utilice.

Una vez que se tiene el total de corriente que debe aportar la Fuente de Alimentación, se puede encontrar la potencia de salida de la misma, necesaria para satisfacer la carga total del sistema que se soporta en la fuente. Para ello se utiliza la ecuación (III.1).

$$P = UI \tag{III.1}$$

donde:

P = Potencia de salida de la Fuente de Alimentación [W]

U = Tensión a la salida de la Fuente de Alimentación [V]

I = Corriente a la salida de la Fuente de Alimentación [A]

Se puede entonces plantear que:

$$P = 24 \text{ V} \times 0.591 \text{ A}$$

$$P = 14.2 \text{ W}$$

Tabla IV.2 Relación de consumos eléctricos para dimensionar la Fuente de Alimentación.

Dispositivo	Corriente de Consumo (A)	Sección
Interruptor Presión Diferencial Aire	0.007	Entradas Digitales
Interruptor Presión Diferencial Agua	0.007	Entradas Digitales
Interruptor Flujo de Aire	0.007	Entradas Digitales
Contacto Auxiliar Arranque/Paro Vent.	0.007	Entradas Digitales
Contacto Auxiliar Accionamiento B.R	0.007	Entradas Digitales
Contacto Auxiliar Sobrecorriente Vent.	0.007	Entradas Digitales
Contacto Auxiliar Sobrecorriente B.R	0.007	Entradas Digitales
Bobina Contactor Arranque/Paro Vent.	0.1	Salidas Digitales
Bobina Contactor Accionamiento B.R	0.1	Salidas Digitales
Módulo G7F-AD2A	0.2	Módulo Entradas Analógicas.
Módulo G7F-DA2V	0.11	Módulo Salidas Analógicas.
Sensor Temperatura-Humedad Relativa	0.042	Entradas Analógicas
TOTAL	0.591	

Para la selección de esta fuente se debe tener en cuenta que, a pesar de que se pueden usar el 100% de su capacidad, es recomendable y se considera como una buena práctica, que la carga máxima solo alcance entre el 75% y el 80% de la capacidad total de la fuente. De esta manera se alarga la vida útil del dispositivo y se evitan costos de reparación o mantenimiento.

Tomando en cuenta este criterio se tiene que la potencia mínima de la fuente debe ser entonces de 17.8 W. A continuación se muestran las características principales de una fuente elegida para este proyecto.

Propuesta de Fuente de Alimentación Externa

En la referencia [25] se pueden encontrar los datos técnicos correspondientes a la fuente de alimentación externa usada en este proyecto. Dichos detalles se resumen a continuación.

Fabricante:

Telemecanique

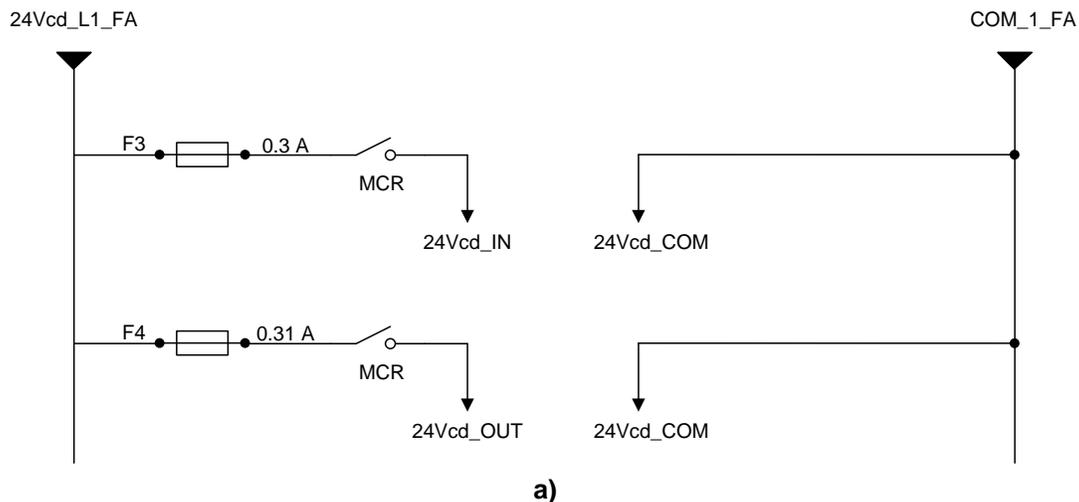
Modelo:

ABL7CEM24012

Datos técnicos generales:

- Tensión nominal de entrada: 100 V c.a. a 240 V c.a
- Tensión de salida: 24 V c.c.
- Corriente de salida: 1.2 A
- Potencia nominal: 30 W
- Consumo de Corriente: 0.25 A a 240 V / 0.4 A a 100 V

La última sección del diagrama de la **Figura IV.2** representa en circuito eléctrico para accionar un Relé de Control Maestro (MCR). Este relé tendrá la función de energizar y desenergizar independiente los elementos de campo del sistema, correspondientes a las entradas y salidas para funciones de mantenimiento o sustitución de los mismos, así como de los módulos para entradas/salidas analógicas del PLC. La **Figura IV.3** muestra la manera en que se realizan las conexiones necesarias para llevar a cabo esta realización.



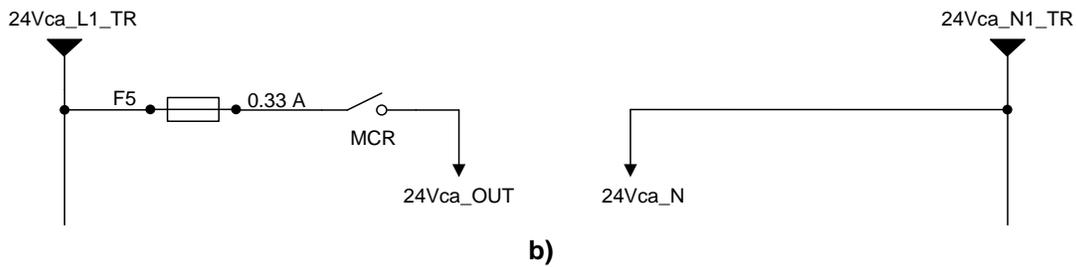


Figura IV.3 a) Diagrama de conexiones para buses de entrada/salida en corriente directa.

b) Diagrama de conexiones para buses de entrada/salida en corriente alterna.

La **Figura IV.3 a)**, muestra como se generan, manejadas por el MCR, dos líneas para las conexiones de alimentación de los elementos de entrada y salida del sistema de control, que se alimentan en corriente directa. Ambas líneas se toman de la salida de la Fuente de Alimentación y se protegen con los fusibles F3 y F4 para evitar daños por cortocircuitos a los elementos de campo. Estas protecciones se seleccionan en base a las características eléctricas de la carga en cada una de las líneas. Por su parte la **Figura IV.3 b)**, muestra una línea, igualmente manejada por el MCR, que se utilizará para las conexiones de los elementos en corriente alterna. Esta línea también se protege mediante el fusible F5 y se toma de la salida del Transformador Reductor.

IV.4.2.2 Diseño del Diagramas de Conexiones para Entradas/Salidas Digitales

Utilizando los buses de conexión generados anteriormente se hacen las conexiones para las entradas y salidas del sistema de control. La **Figura IV.4** muestra las conexiones correspondientes a las secciones de entradas y salidas digitales en relación a la **Tabla IV.1**.

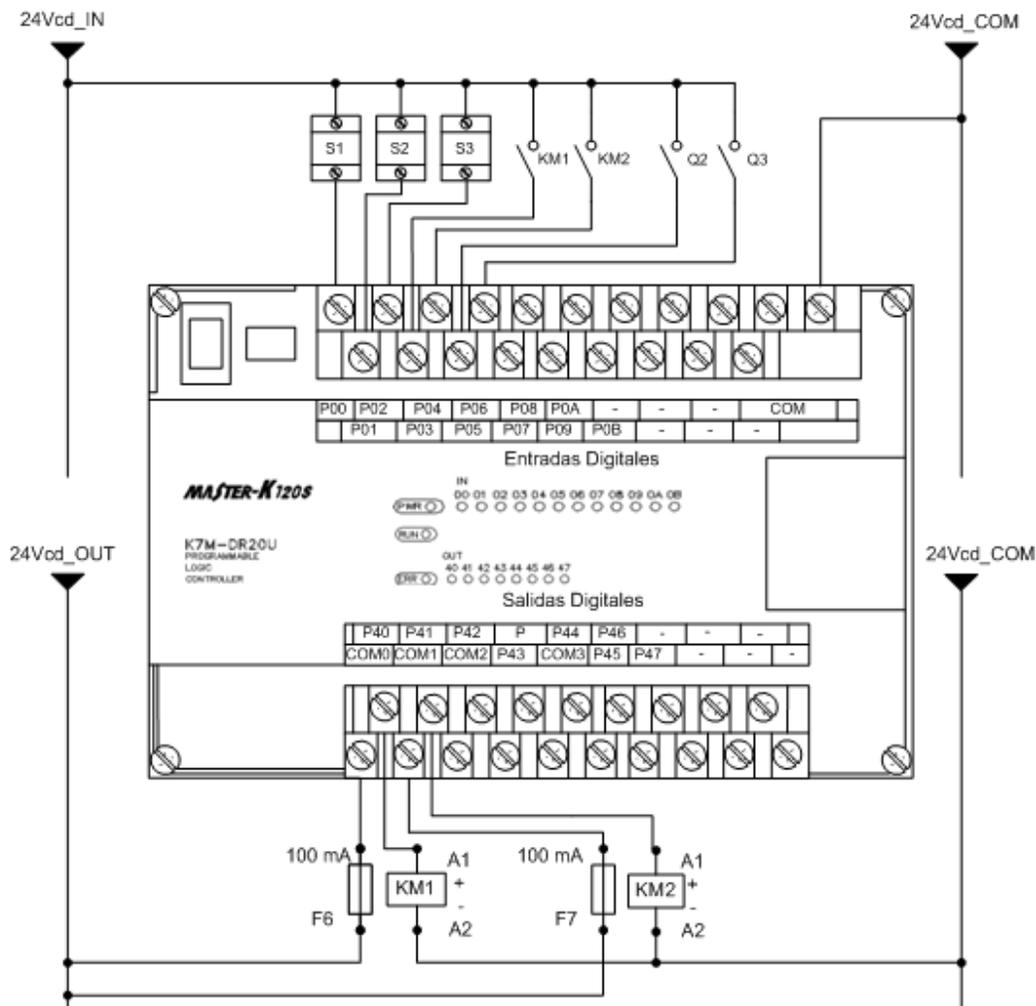


Figura IV.4 Diagrama de conexiones del PLC para entradas/salidas digitales.

Los elementos que se representan conectados al PLC se listan en la **Tabla IV.3**. En dicha tabla se puede encontrar a que instrumento o elemento de campo corresponde(n) cada uno de los dispositivos representados en la **Figura IV.4**, así como una breve explicación de la función que realizan dentro del sistema, para una mejor comprensión del diagrama de la esta figura.

En el diagrama de la **Figura IV.4** aparecen representados los contactores que se ocupan para el accionamiento del Ventilador y del Banco de Resistencias. Estos contactores son trifásicos y se activan mediante la generación, por parte de la lógica de control del PLC, de una señal que permite el paso de la corriente eléctrica a través de las bobinas correspondientes a cada uno de estos elementos (KM1 y KM2 en la sección de salidas digitales). La inducción electromagnética

producida por estas bobinas hace que los contactos cambien de estado. Para funciones de control los contactores cuentan además con contactos auxiliares que se usan para detectar el estado de estos elementos de campo (KM1 y KM2 en la sección de entradas digitales).

Tabla IV.3. Relación de elementos para entradas/salidas digitales.

No.	Etiqueta	Descripción	Servicio	Sección
1	S1	Interruptor Presión Diferencial Aire	Detección de Filtro de Aire sucio	ENTRADAS DIGITALES
2	S2	Interruptor Presión Diferencial Agua	Detección de Serpentín sucio	
3	S3	Interruptor Flujo de Aire	Detección de presencia de flujo de aire	
4	KM1	Contacto Auxiliar Arranque/Paro Vent.	Detección de estado del Ventilador	
5	KM2	Contacto Auxiliar Accionamiento B.R	Detección de estado del B.R	
6	Q2	Contacto Auxiliar sobrecorriente Vent.	Detección de sobrecorriente en el Vent.	
7	Q3	Contacto Auxiliar sobrecorriente B.R	Detección de sobrecorriente en el B.R	
8	F6	Fusible	Protección de la Bobina del Contactor KM1	SALIDAS DIGITALES
9	KM1	Bobina del Contactor	Arranque/Paro del Vent.	
10	F7	Fusible	Protección de la Bobina del Contactor KM2	
11	KM2	Bobina del Contactor	Accionamiento del B.R	

También se puede encontrar en la **Figura IV.4** dos contactos correspondientes a los Interruptores Magneto-Térmicos para la protección del Ventilador y del Banco de Resistencias. Estos son contactos auxiliares para conocer el estado de estos interruptores (Q2 y Q3 en la sección de entradas digitales).

IV.4.2.3 Diseño del Diagramas de Conexiones para Entradas/Salidas Analógicas

La sección de entradas analógicas aparece representada en el diagrama de la **Figura IV.5**. En esta figura se representa el módulo requerido por el PLC, para esta función, el cual es un conversor analógico/digital (A/D) de cuatro canales. Dicho módulo requiere alimentación adicional, para ello se conecta a las líneas de generadas a partir de la Fuente de Alimentación.

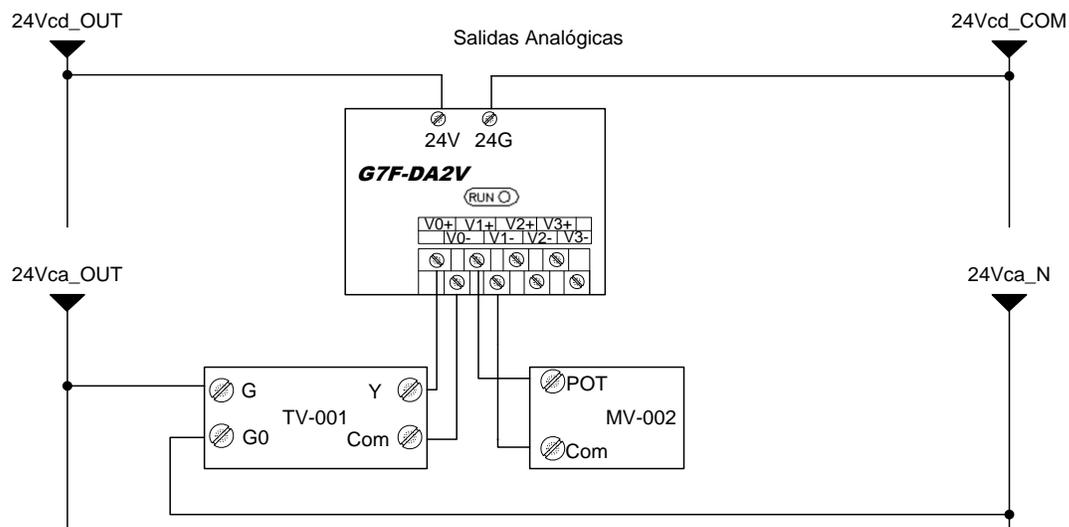


Figura IV.6 Diagrama de conexiones para salidas analógicas.

Para este caso se requiere la alimentación de los instrumentos representados: Actuador para Válvula de Tres Vías (TV-001) y Válvula de Corriente Eléctrica (MV-002). La alimentación requerida por el Actuador es en corriente alterna (ver sección III.2), por ello las tomas de entrada de este dispositivo se conectan a las líneas de alimentación generadas a partir del Transformador Reductor, y a su vez las líneas para señales de control son llevadas a uno de los canales del módulo conversor.

Por su parte la Válvula de Corriente Eléctrica, requiere de una red trifásica de alimentación para una configuración Delta de la carga, debido a esto, este instrumento se alimenta directamente desde el Tablero de Fuerza, diseñado más adelante. En el esquema de la **Figura IV.6** solamente aparece representada su etapa de control, la cual tiene dos líneas dispuestas para este propósito y que son llevadas a otro canal del módulo conversor

Con este ultimo esquema analizado, quedan completados los diagramas para el Tablero de Control, de manera que el sistema pueda operar en forma automática. La sección de clemas mostrada en la parte inferior de la **Figura IV.1** es un arreglo de las líneas de conexiones de alimentación eléctrica y de las líneas para control del sistema, vistas en el desarrollo de los diagramas anteriores.

IV.4.3 Diseño de los Diagramas de Conexiones para Panel de Fuerza

En el panel de fuerza se ubicarán los elementos de protección y los contactores para el arranque/paro del ventilador, así como para el accionamiento del banco de resistencias. Las Válvulas Corriente Eléctrica, encargadas del control de la humedad relativa también se ubican en este panel. Por último se tiene una sección de clemas de conexión, de manera similar al Panel de Control.

Este panel se alimenta con una conexión eléctrica trifásica de 200 V. La **Figura IV.7** muestra dicha conexión de entrada la cual se distribuye a cada una de los elementos atendidos y ubicados en la UMA:

- Ventilador Centrífugo
- Banco de Resistencias

Para una mejor comprensión, los elementos que se representan en el diagrama de la **Figura IV.7** se relacionan en la **Tabla IV.4**.

Tabla IV.4. Relación de elementos para conexión principal del Panel de Fuerza.

No.	Etiqueta	Descripción	Servicio
1	Q1	Interruptor Magneto-Térmico trifásico	Protección principal del Panel de Fuerza
2	Q2	Interruptor Magneto-Térmico trifásico	Protección individual del Ventilador
3	Q3	Interruptor Magneto-Térmico trifásico	Protección individual del Banco de Resistencias
4	KM1	Contactador de 3 polos	Arranque/Paro del Ventilador
5	KM2	Contactador de 3 polos	Accionamiento del Banco de Resistencias

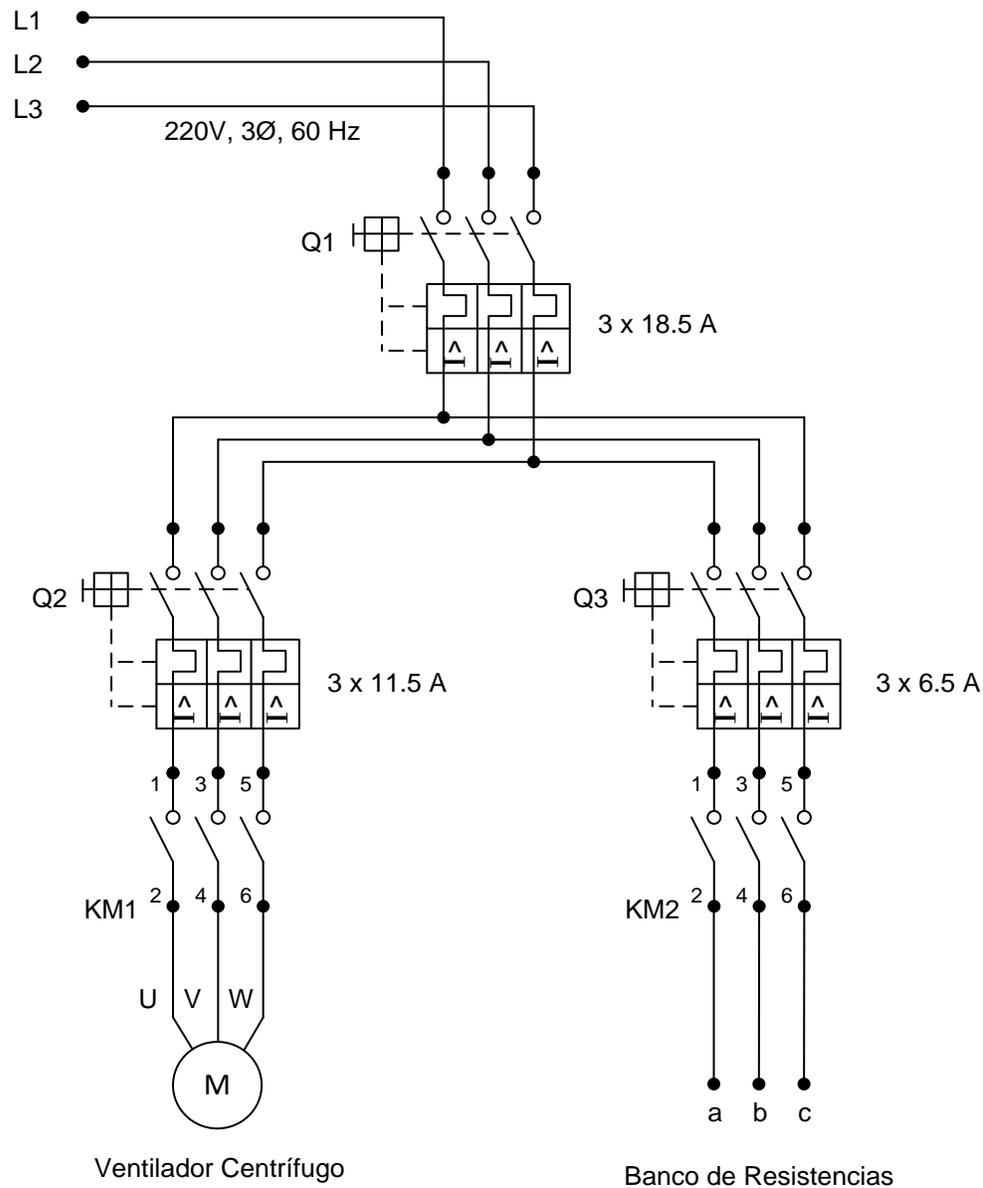


Figura IV.7 Diagrama principal de conexiones eléctricas del Panel de Fuerza.

El interruptor principal Q1, tiene la función de proteger toda la carga del Panel de Fuerza de posibles cortocircuitos, pero también mediante este se realizará la conexión y desconexión de todo el panel. A su vez, cada uno de los elementos que son atendidos desde este panel, presentan protecciones adicionales, Q2 y Q3, las cuales se instalan como primer elemento de estas subredes de alimentación trifásicas. De esta manera se garantiza no solo la protección de los equipos sino también la de los contactores KM1 y KM2. Paralelamente, estos interruptores individuales se utilizan para energizar y desenergizar el Ventilador

Centrífugo o el Banco de Resistencias de manera individual, para labores de mantenimiento de estos equipos o de los contactores.

Como se puede ver en la **Figura IV.7**, cada uno de estos interruptores es capaz de soportar el paso de una corriente eléctrica específica. Dicha corriente depende de las características propias de los elementos alimentados y en base a ello se seleccionaron las protecciones.

El contactor KM2 permite energizar las líneas a, b y c que se muestran en la **Figura IV.7**. Esto permite la conexión trifásica del Banco de Resistencias, que se muestra en **Figura IV.8**. Para una mejor comprensión de esta última figura en la **Tabla IV.5** se listan los componentes que intervienen en el diagrama de conexión.

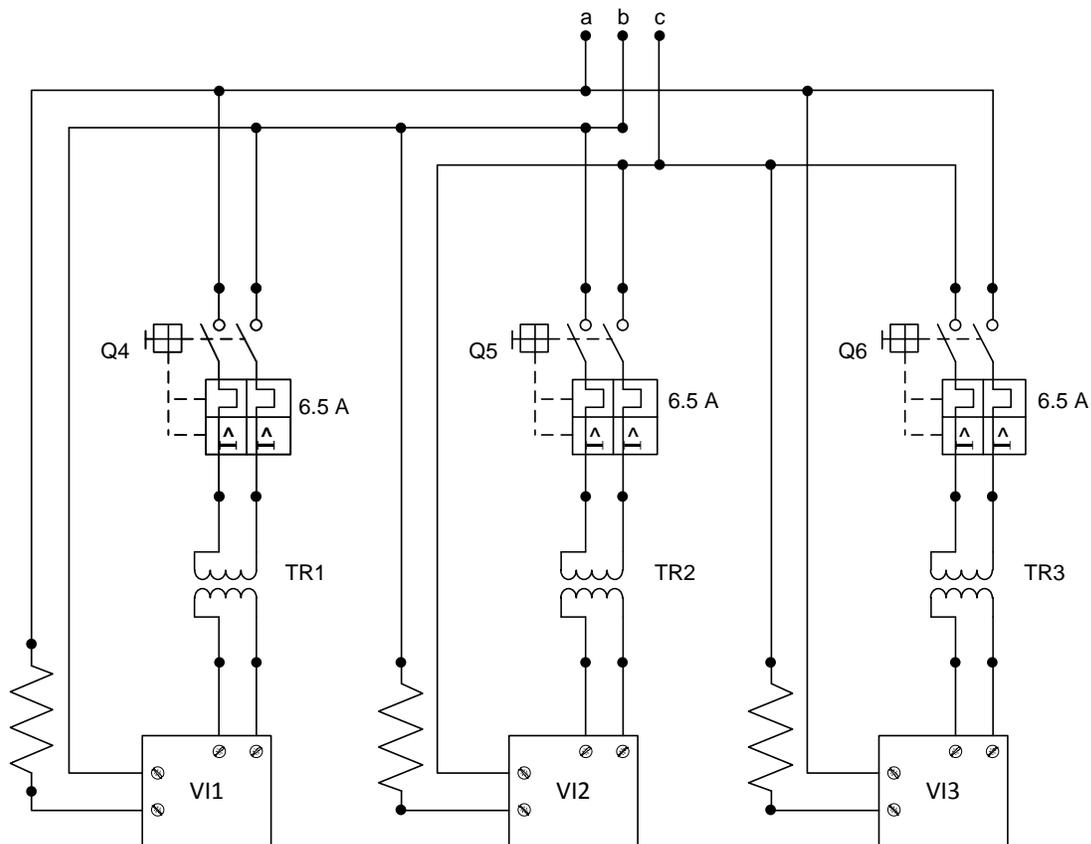


Figura IV.8 Diagrama de conexión eléctrica trifásica del Banco de Resistencias.

En el diagrama anterior, las Válvulas de Corriente Eléctrica se conectan en una configuración de tres fases para controlar la disipación de calor de las resistencias. Los Transformadores Reductores entregan 24 V de corriente alterna para

alimentar dichas válvulas. La potencia de salida necesaria de estos transformadores es de 156 VA. Las protecciones se seleccionan igualmente con base en las características eléctricas de estos elementos.

Tabla IV.5. Relación de elementos para conexión trifásica del Banco de Resistencias

No.	Etiqueta	Descripción	Servicio
1	Q4, Q5, Q6	Interruptores Magneto-Térmico	Protección para Válvulas de Corriente Eléctrica
4	TR1, TR2, TR3	Transformadores Reductores	Alimentación Eléctrica de las Válvulas de Corriente
5	VI1, VI2, VI3	Válvulas de Corriente Eléctrica	Control de Humedad Relativa

La sección de clemas para este panel es un arreglo de las líneas de conexiones de alimentación eléctrica vistas en el desarrollo de este epígrafe.

IV.5 Configuración del Sistema de Control (PLC)

El controlador Master K-120, utilizado para el desarrollo del proyecto, brinda numerosas prestaciones y facilidades, es capaz de procesar toda la información del sistema, auto ajustar los parámetros del controlador y actuar sobre los lazos de control. Para la eficiente explotación de estas prestaciones es necesario conocer algunos aspectos de las configuraciones que son necesarias realizar. Este epígrafe es dedicado a la explicación de cada una de las configuraciones que se deben realizar y la manera en que se programa este equipo para el funcionamiento automatizado de este sistema.

IV.5.1 Introducción al Software de configuración KGL_WE

El software KGL_WE es la herramienta estándar de configuración y programación para la gama de controladores LG MASTER_K y es de gran utilidad para aprovechar el pleno rendimiento de estos sistemas de control. Presenta funciones que proporcionan comodidad al usuario para la realización de todas las fases de un proyecto de automatización. La creación de un proyecto utilizando este software, requiere de un procedimiento a seguir para que el resultado final sea satisfactorio.

El procedimiento básico a seguir para el uso del Software KGL_WE es el siguiente:

- Elaboración de la secuencia de operación del sistema a automatizar.
- Creación de un nuevo proyecto.
- Configuración del hardware.
- Desarrollo del programa.

Los puntos anteriores se desarrollarán a continuación siguiendo las exigencias del Sistema de Climatización que se está automatizando.

IV.5.2 Secuencia de Operación del Sistema de Climatización

La secuencia de operación son los pasos que sigue el Sistema de Control para hacer operar el sistema de manera automatizada. En esta operación intervienen principalmente el manejo de variables de proceso y de los posibles estado de alarma que puedan generarse del funcionamiento del sistema en cuestión. La **Figura IV.9** muestra un diagrama de flujo el cual describe la secuencia de operación del controlador.

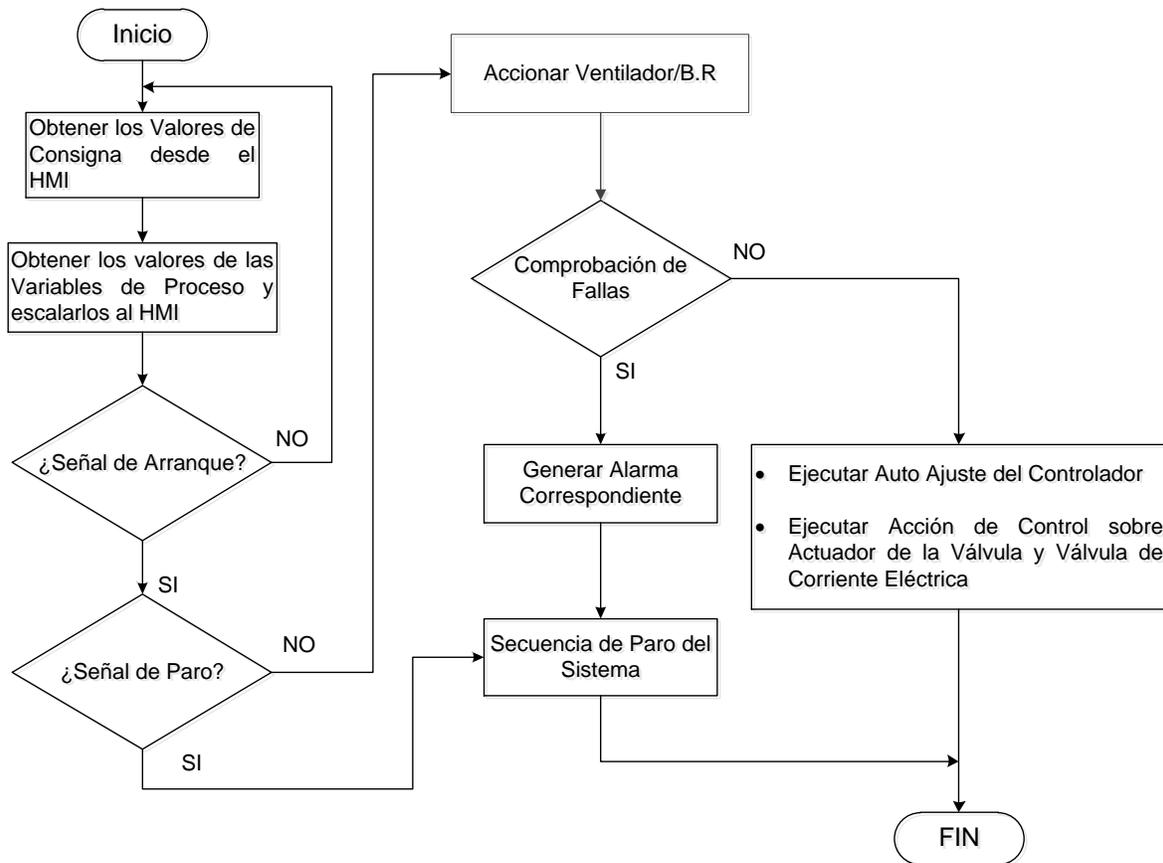


Figura IV.9 Secuencia de operación del controlador.

El primer paso de la secuencia es obtener los valores a los cuales se quieren llevar las variables de proceso (Valores de Consigna), estos valores se obtienen desde el HMI y serán proporcionados por un operador. Subsecuentemente el PLC hará una lectura de los valores reales de las Variables de Proceso y los escalará al HMI para que puedan ser vistos por los ocupantes de la sala.

El siguiente paso es una condición, el controlador necesitará conocer si se ha indicado el arranque del sistema, en caso de negación, el ciclo retornará al inicio para continuar los dos pasos antes expuestos; y en caso positivo se pasará a la próxima condición. Esta segunda condición es para determinar si se ha ordenado el paro del sistema, en cuyo caso acertado se pasaría a una secuencia de paro, que no es más que desenergizar el Ventilador y el Banco de Resistencias y, de esta manera, terminaría el funcionamiento del equipo. Si la condición es negada, es decir, que el sistema debe continuar en funcionamiento, se procede entonces a accionar los elementos del sistema y determinar si existen fallas.

Esta comprobación de fallas se realiza mediante los diferentes dispositivos de entrada dispuestos para este fin. En caso de existir cualquier fallo de operación del sistema, el PLC generará la alarma correspondiente a dicha falla y pasará directamente a ordenar la secuencia de paro. De no existir problema alguno se ejecutan las acciones de control. Una vez que se llega a un punto cualquiera de la secuencia que lleve al fin de la misma termina el ciclo del PLC y volvería a iniciar nuevamente.

IV.5.3 Creación de un Nuevo Proyecto en KGL_WE

Para iniciar una serie de pasos de configuración del controlador que se está utilizando es necesario primeramente conocer de qué manera podemos generar un proyecto desde sus inicios. Para ello debemos iniciar el software referido anteriormente y seleccionar la opción Nuevo Proyecto en la Barra de Tareas. En este momento obtendremos una pequeña ventana que brinda, entre otras posibilidades, la de crear el proyecto nuevo (**Figura IV.10**).

Una vez seleccionada la opción que se desea el asistente nos muestra una ventana, la cual posibilita escoger las propiedades del proyecto. Una de las principales es seleccionar el controlador, de la gama de controladores LG MASTER-K, que se va a programar; y a continuación e debe seleccionar el lenguaje en que se va a programar. Esta ventana se muestra en la **Figura IV.11**.

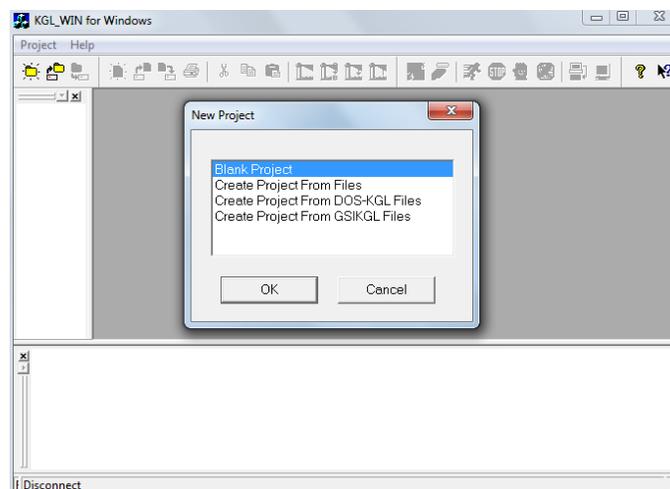


Figura IV.10 Ventana del Software KGL_WE para crear un nuevo proyecto.

Al finalizar la selección de opciones el software pasa a otra ventana en la cual se procede a la programación de la secuencia del PLC. Desde esta ventana también se procede a la configuración de los bloques y funciones que se utilizarán, así como la definición de las diferentes variables (**Figura IV.12**).

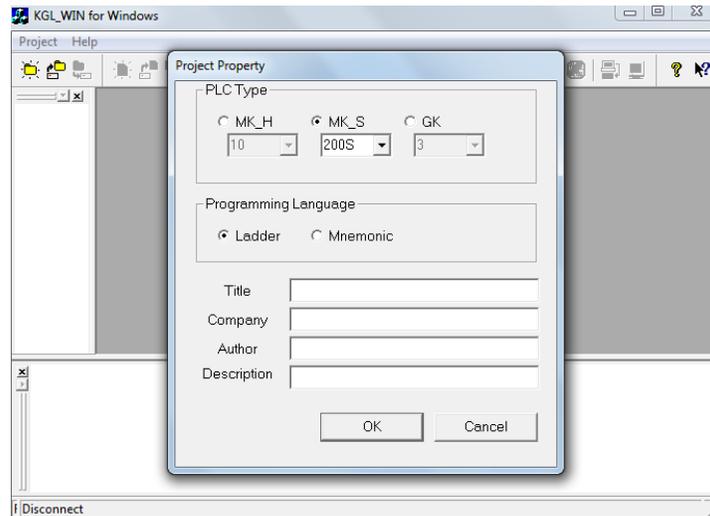


Figura IV.11 Ventana del Software KGL_WE para seleccionar propiedades del proyecto.

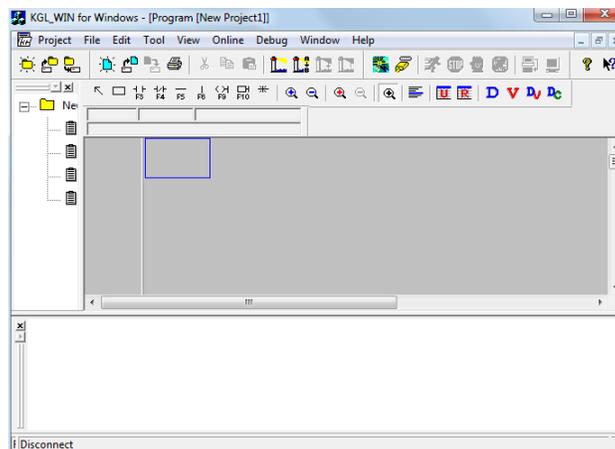


Figura IV.12 Ventana del Software KGL_WE de programación y configuración del PLC.

IV.5.4 Configuración del Hardware

En el momento en que se procede a la realización de un proyecto específico se hace necesario configurar el equipo de control de manera que cumpla con las

especificaciones de dicho proyecto. Las configuraciones necesarias para la automatización del sistema en cuestión se realizarán a continuación.

La configuración del controlador, para este caso específico, se basa principalmente en los dos lazos de control que se manejan (Lazos de Control de Humedad Relativa y Temperatura), los cuales se muestran en la **Figura IV.13**. De ellos se deduce que es necesario configurar el algoritmo de control PID y su auto ajuste, además se deben establecer los parámetros de comunicación del PLC con los módulos especiales necesarios para entradas/salidas analógicas (**Tabla IV.2**). Para el desarrollo de este epígrafe se empleará solo el lazo de control de temperatura, la completa configuración y programación de la secuencia para ambos lazos y para estados de alarma se pueden ver en el Anexo F.

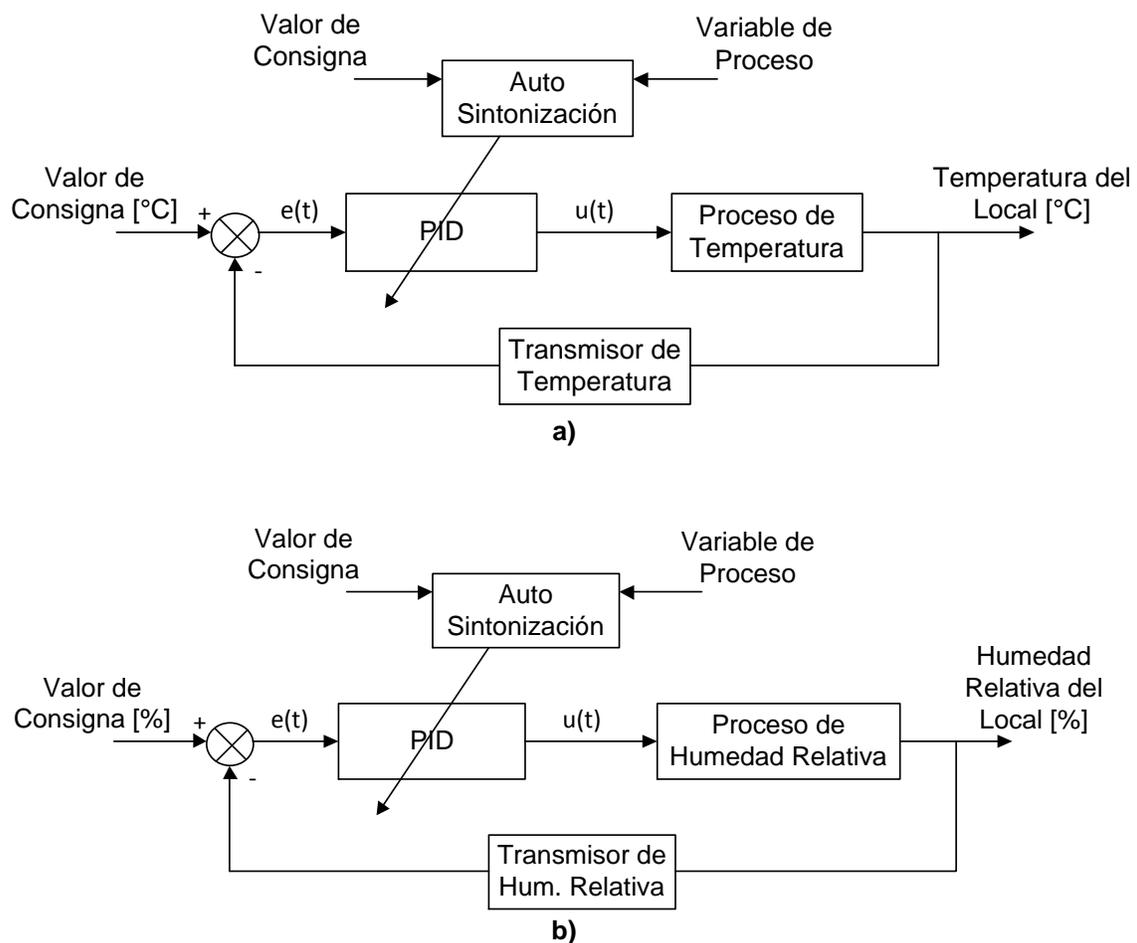


Figura IV.13 a) Lazo de Control de Temperatura.
b) Lazo de Control de Humedad Relativa.

Los primeros bloques que se deben configurar son los canales de entrada y de salida ocupados para el control de las variables antes mencionadas. Para ello es necesario referirse a la opción Parámetros, de la cual se despliegan, en el área de trabajo, varias opciones de las que se utilizará la marcada como Analógicas. En la **Figura IV.14** se puede ver que el PLC es capaz de manejar hasta tres unidades analógicas de diferentes tipos y tiene prestaciones para hasta cuatro canales por cada una de ellas.

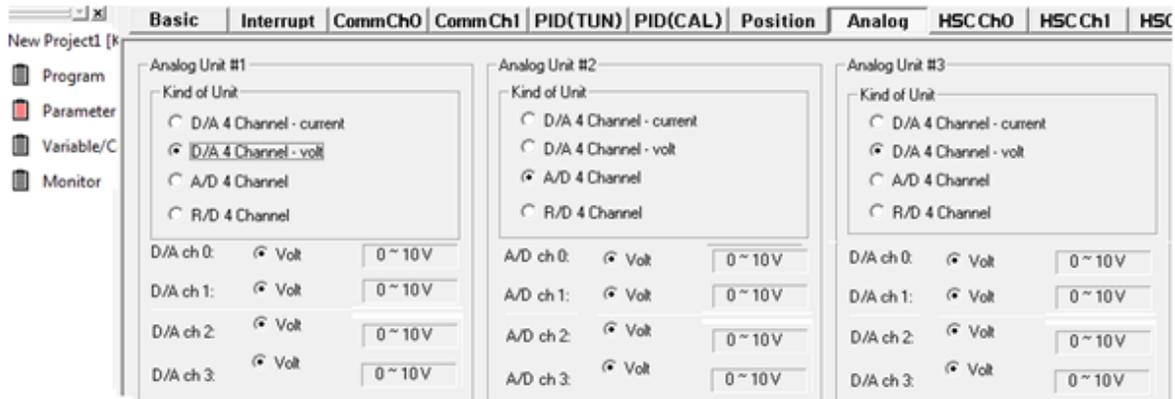


Figura IV.14 Configuración de los canales de entradas/salidas analógica.

Este proyecto utilizará una unidad de entrada analógica, la cual es un convertor D/A de cuatro canales, que recibe una señal de tensión y para el caso de la unidad de salida analógica, se empleará un convertor A/D de cuatro canales que entrega una señal, también de tensión. Esta selección se realiza en base a los módulos especiales que se emplean y a las características de los instrumentos de campo (ver secciones III.2 y III.3).

Una vez configurados los canales que se emplearán para el control se procede a la configuración de la función Auto Ajuste del PID y del algoritmo de control PID. Para configurar la primera de estas funciones, es necesario marcar la opción PID (TUN). Como se puede ver en la **Figura IV.15**, este controlador es capaz de manejar hasta ocho lazos PID y cada uno de ellos puede ser auto ajustado. Se necesita entonces entrar los parámetros de dos de estos lazos, para lo cual existe una pequeña ventana que brinda esta posibilidad.

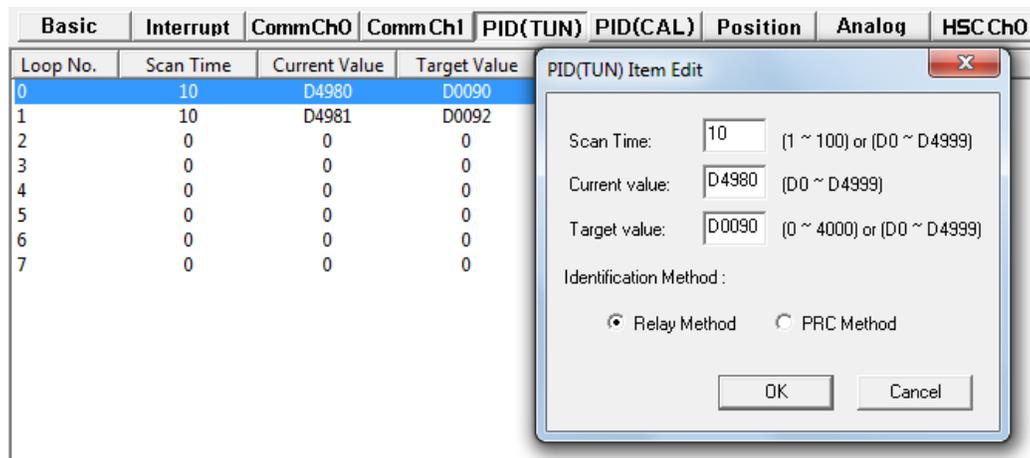


Figura IV.15 Configuración de la función de Auto Ajuste de los lazos PID.

Para la configuración de esta función se necesita seleccionar un Tiempo de Muestreo para tomar las lecturas de la Variable de Proceso. En este caso se seleccionó diez segundos ya que la variable Temperatura cambia muy lentamente. Por otro lado es necesario también definir las direcciones de memoria del PLC de donde se tomarán los valores reales y de consigna para ejecutar el control.

Una vez que se ha llegado a este punto, el equipo de control será capaz de calcular los parámetros necesarios para el algoritmo PID. Por tanto se hace necesario configurar dicho algoritmo de control para actuar sobre la Variable de Proceso. Para ello se selecciona la opción PID (CAL), y en ella se toman los lazos que se desea configurar. La **Figura IV.16** muestra como se configura el lazo de control para la variable Temperatura. Para seleccionar los parámetros de configuración adecuados se debe tener un manejo previo del modo en que opera este equipo de control en particular, los conocimientos necesarios para una buena configuración de este equipo se pueden obtener del documento “Controlador Lógico Programable Master K-120S, Manual de Usuario”, citado como referencia de este trabajo.

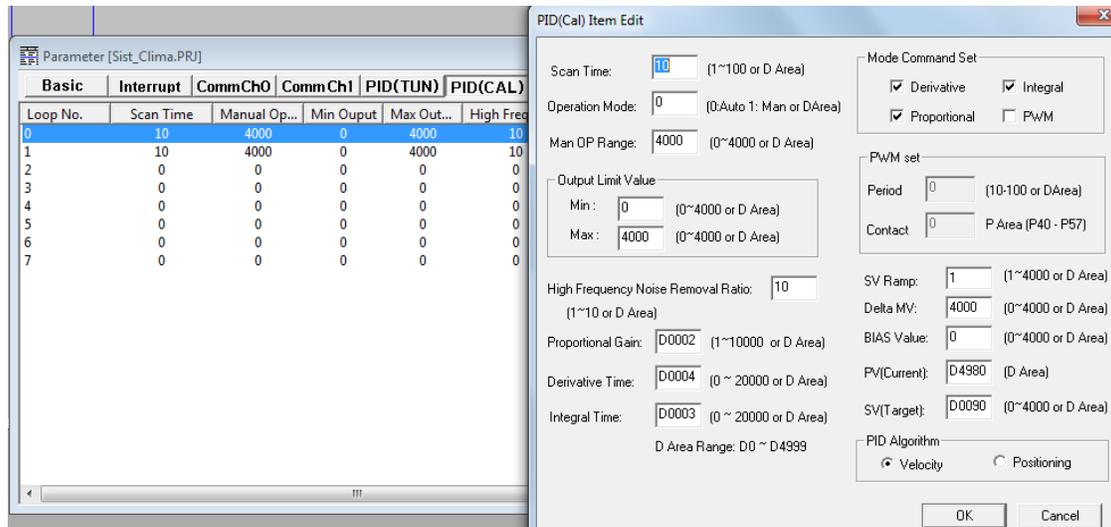


Figura IV.16 Configuración de los Lazos PID.

Con las configuraciones antes realizadas, el sistema de control está listo para calcular las constantes P, I, D, y con estos valores podrá ejecutar la acción de control del algoritmo PID. Para que esto pueda ser llevado a cabo, es necesario programar, en el área de trabajo del PLC, la secuencia que iniciará la operación de este algoritmo. En la **Figura IV.17** se muestra la sección de programa en la que se ejecuta la función de Auto Ajuste y el algoritmo PID para el lazo de control de temperatura.

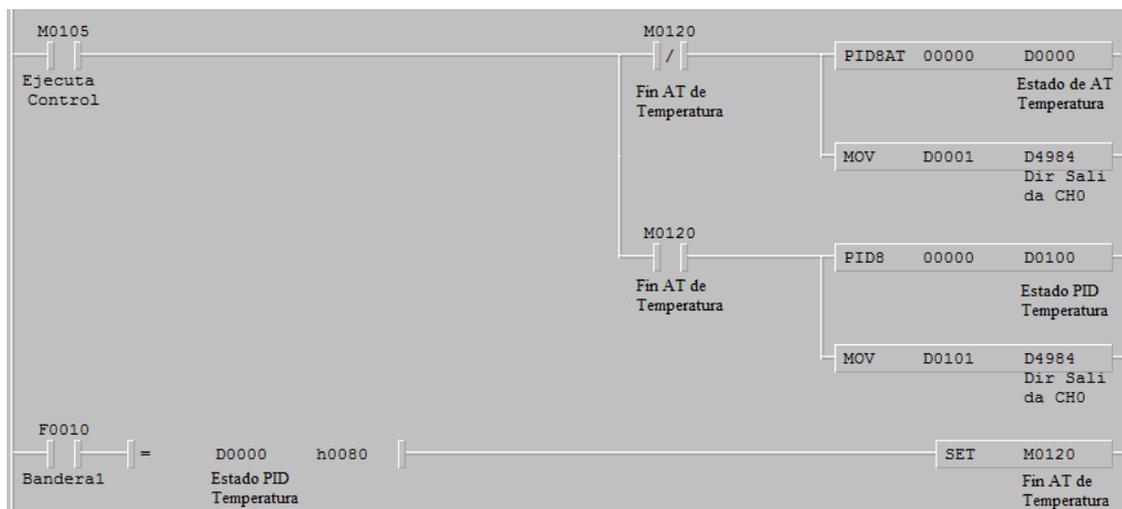


Figura IV.17 Sección de programa para ejecutar Auto Ajuste y algoritmo PID de Temperatura.

En la **Figura IV.17** se puede ver que primeramente se ejecuta la instrucción PID8AT, la cual responde a la función de Auto Ajuste del lazo "00000" usado en

este caso para el control de Temperatura. Una vez que finaliza su ejecución, la marca “M0120” cambiará de estado por la acción de la bandera “F0010”. Esto provocará que se ejecute la instrucción PID8, que responde al algoritmo de control PID, el cual generará una señal de salida. Esta última se escribe en una dirección de memoria para que sea llevada al elemento de acción final.

De esta manera queda configurada la secuencia del algoritmo de control. Una explicación más completa de la programación del PLC para este proyecto se puede encontrar en el Anexo F.

IV.6 Configuración del Sistema de Monitoreo o Interfaz Gráfica (HMI)

El sistema de monitoreo está compuesto por un dispositivo mediante el cual un operador puede interactuar con el sistema. Este es un pequeño panel que cuenta de una pantalla visualizadora y varios botones con funciones determinadas. Dicho dispositivo se instalará en una pared de la sala climatizada. Las funciones principales que tendrá esta interfaz son las siguientes:

- Permitir el arranque y paro del sistema.
- Indicar los estados de mal funcionamiento del sistema mediante alarmas sonoras y visuales.
- Posibilitar el manejo de los valores de consigna para las variables de proceso.
- Visualizar, en todo momento, los valores reales de las variables de proceso.

El dispositivo que será empleado es el “XGT PANEL”, de fabricación LG, el cual se acopla perfectamente con el PLC usado. Para la configuración de este dispositivo se emplea un software destinado para este fin y llamado “Panel Editor”. A continuación se realizará una breve descripción de las pantallas elaboradas con dicho programa para el monitoreo del sistema, donde se explica principalmente cómo acceder a una pantalla específica y las particularidades de cada una de ellas, cómo desplazarse de una pantalla a otra, así como las funciones de los diferentes botones que contiene el panel.

Primeramente tenemos la pantalla principal la cual aparece cuando se enciende el XGT PANEL, esta no tiene ninguna acción sobre el proceso, solo es indicativa y permite al operador acceder a la siguiente pantalla mediante el botón “Derecha”.

En ella aparece el nombre que se le dio al proceso de clima. La **Figura IV.18** muestra esta pantalla. Es importante destacar que esta pantalla solo aparece al iniciar la interfaz y solo es posible volver a ella si se reinicia el equipo.



Figura IV.18 Pantalla principal de la HMI (Pantalla No.1). [28]

La siguiente pantalla muestra los valores reales de las variables de proceso, tanto en unidades de ingeniería como en un gráfico, como se puede observar en la **Figura IV.19**. A esta pantalla se puede acceder incluso en momentos en que el sistema de climatización está apagado. Los valores mostrados son obtenidos del PLC, para ello es necesario configurar la HMI a través de su software de configuración. Desde aquí se da la posibilidad de arrancar o parar el sistema. Para el arranque se ha configurado la tecla “F1” y para el paro la tecla “F2”, ubicadas en el extremo izquierdo del panel.



Figura IV.19 Pantalla para mostrar valores actuales de variables de proceso en la HMI (Pantalla No.2). (Ver referencia [28]).

Una vez que se oprime el botón de arranque, es necesario ir a la pantalla en la que se deben indicar los valores de consigna de las variables de proceso. Para ello se necesitará oprimir el botón “Derecha” del panel. Estos valores serán pasados al PLC para la ejecución de los algoritmos de control.

Para entrar los valores, es necesario moverse a través de los campos numéricos utilizando los botones “Arriba” y “Abajo”, se deberá oprimir el botón SET y aparecerá el cursor en el campo numérico seleccionado, una vez aquí el operador podrá moverse de un dígito a otro mediante los botones “Izquierda” y “Derecha”(ver **Figura IV.20**). Para que los valores entrados queden reflejados en la memoria del PLC se necesita oprimir la tecla “ENT” del panel. Será necesario realizar esta acción cada vez que se requiera variar los parámetros, incluso con el sistema en funcionamiento. Para ir nuevamente a la pantalla No. 2 será suficiente con oprimir el botón “Izquierda”.



Figura IV.20 Pantalla para ajustar los valores de consigna de las variables de proceso en la HMI (Pantalla No.3). (Ver referencia [28]).

El sistema de monitoreo también mostrará pantallas para estados de alarma. Se ha configurado una pantalla para cada una de estos estados y solo se mostrarán en el momento en que se genere dicha alarma en el PLC, en ese momento también sonará una bocina durante sesenta segundos. A estas pantallas no se puede acceder por medio de botones, sin embargo, una vez que se muestra se necesita oprimir el botón “ALM” para desactivar la alarma. La ventana de configuración de alarmas en la HMI se puede ver en la **Figura IV.21**.

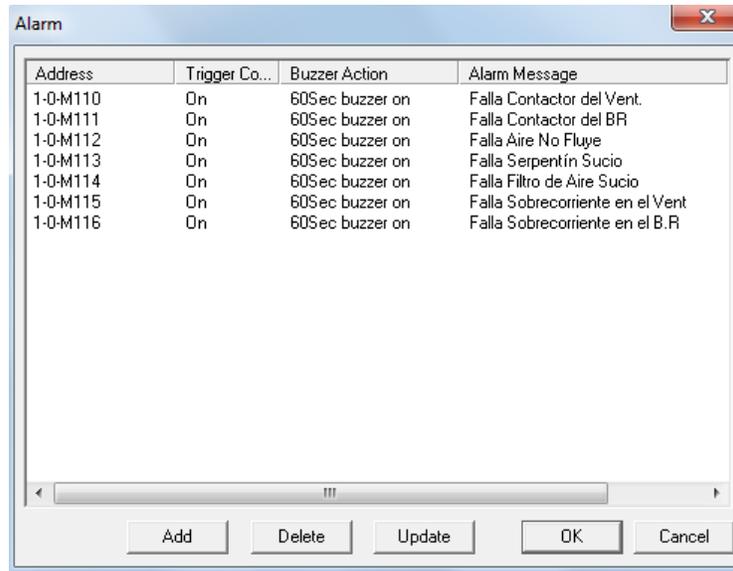


Figura IV.21 Ventana de configuración de alarmas de la HMI. (Ver referencia [28]).

La configuración completa de cada una de las pantallas destinadas a mostrar las alarmas se puede encontrar en el Anexo G de este trabajo. De esta manera queda concluida la configuración de la HMI usada para el proyecto.

Capítulo V

Análisis Económico del Proyecto

En todo proyecto inversionista resulta de vital importancia conocer los costos del mismo. Este resumen de costos sirve para determinar el máximo rendimiento de la inversión en un proyecto, facilitar una comparación racional de las posibles opciones y asegurar que las decisiones sobre inversión se adopten con responsabilidad. En este capítulo se podrá encontrar una cotización lo más aproximada posible del presente proyecto.

El análisis económico es, en este caso, el cálculo del costo en el que se incurriría para llevar a la práctica el proyecto. Para este análisis, el presente trabajo se divide en dos partes:

- Costo de la elaboración del proyecto.
- Precio de la inversión.

V.1 Costo de la Elaboración del Proyecto

Para la elaboración del proyecto se requiere de conocimientos en la materia, por lo que se hace necesario contar con personal especializado. Este personal y las horas estimadas para la realización de su trabajo se relacionan en la **Tabla V.1**.

Tabla V.1 Relación de costos de elaboración del proyecto

Personal	Horas de Trabajo	Pago por Hora(MXP)	Total(MXP)
Ing. Control y Automatización	160	300	4,8000
Dibujante	20	100	2,000
		TOTAL	50,000

V.2 Precio de la inversión

El precio de la inversión se constituye tanto de los precios de todos los instrumentos y accesorios necesarios para implementar el proyecto, así como de la mano de obra para el mismo. A continuación, la **Tabla V.2** muestra un listado de instrumentos, equipos y accesorios necesarios para llevar a la práctica el proyecto con sus respectivos precios. Este listado es aproximado, por lo tanto, en el momento en que se implemente el sistema pudieran surgir variaciones.

Tabla V.2 Relación de costos de dispositivos que intervienen en el proyecto

Descripción	Cant.	Fabricante (Mod.)	Precio Total (MXP)
Gabinete para Panel de Control	1	Moeller (GK-W462)	1,840.40
Interruptor Termo-Magnético del Panel de Control	1	Telemecanique (GB2CB09)	380.50
Transformador Reductor para Panel de Control	1	Schneider Electric (JA63T)	652.50
Fuente de Alimentación para Panel de Control	1	Telemecanique (ABL7CEM2401)	1,946.90
Relé de Control Maestro	1	Telemecanique (LR2K0306)	668.70
Botón pulsador NA de 1 contacto.	1	Telemecanique (XB4BA21)	120.00
Controlador Lógico Programable	1	LG (Master K-120S)	1,783.25
Módulo de Entradas Analógicas	1	LG (G7F-AD2A)	1,975.00
Módulo de Salidas Analógicas	1	LG (G7F-DA2V)	2,053.25
Transmisor de Temperatura y Humedad Relativa	1	Siemens (QFM2160)	3,831.70
Interruptor de Presión Diferencial de Aire	1	Siemens (QBM81)	1,123.45
Interruptor de Presión Diferencial de Agua	1	Omega (PSW-181)	1,002.80
Interruptor de Flujo de Aire	1	Johnson Controls (F61)	1,115.45
Válvula de Tres Vías	1	Siemens (VXG41.50)	7,461.55
Actuador para Válvula de Tres Vías	1	Siemens (SQX62)	7,397.25
Válvula de Corriente Eléctrica	3	HBCcontrols (HRT-25HDS)	2,943.15
Gabinete para Panel de Fuerza	1	Moeller (GK-W664)	3,362.25
Contactador Arranque/Paro del Ventilador (3 polos) con contactos para control	1	Telemecanique (LC1D18)	1,548.15
Contactador Arranque/Paro del Banco de Resistencias (3 polos) con contactos para control	1	Telemecanique (LC1D18)	1,548.15
Interruptor Termo-Magnético Principal (IM-TP) del Panel de Fuerza	1	Telemecanique (GV2LE22)	1,104.75
Bloque de Contactos Auxiliares para Control del IM-TP	1	Telemecanique (LADN10)	203.35
Interruptor Termo-Magnético del Ventilador (IM-TV)	1	Telemecanique (GV2LE16)	1,104.75
Bloque de Contactos Auxiliares para Control del IM-TV	1	Telemecanique (LADN10)	203.35
Interruptor Termo-Magnético del Banco de Resistencias (IM-TBR)	1	Telemecanique (GV2L14)	1,548.15
Bloque de Contactos Auxiliares para Control del IM-TBR	1	Telemecanique (LADN10)	203.35

Interruptor Termo-Magnético de Válvula de Corriente	3	Telemecanique (GV2LE14)	3,162.30
Transformador Reductor para Válvula de Corriente	3	Schneider Electric (JA63T)	1,957.50
Fusibles de Protección (Capacidades Varias)		Maresa	1,100.00
TOTAL			5,3341.90

Otros costos que se deben tener en cuenta son los de mano de obra, para lo cual se debe considerar al personal necesario. La **Tabla V.3** muestra una relación de las personas involucradas y un estimado de los costos derivados de su trabajo.

Tabla V.3 Relación de costos de mano de obra

Personal	Horas de Trabajo	Pago por Hora(MXP)	Total(MXP)
Ing. Control y Automatización	50	300	15,000
Programador	16	200	3,200
Ing. Instrumentista	24	300	7,200
Técnico Electricista	24	200	4,800
TOTAL			30,200

Realizando una suma de los totales arrojados en las tablas anteriores se puede ver que el costo total del proyecto es aproximadamente de **108,141.90 pesos mexicanos**. Esta debe ser la cifra que el inversionista debe valorar a la hora de decidir la puesta en práctica del proyecto. Cabe mencionar que los instrumentos, dispositivos y equipos pueden sustituirse por otros más económicos disminuyendo de esta manera los costo generales.

Capítulo VI

Conclusiones y Trabajos Futuros

VI.1 Conclusiones

Después de finalizado este trabajo se puede decir que con la puesta en práctica de este diseño de automatización se logra obtener un mejor funcionamiento del sistema de aire acondicionado del comedor del ICID. El proyecto realizado estuvo orientado al cumplimiento de los objetivos definidos, por lo que se puede concluir que:

1. Se cumplió con el objetivo general al lograr desarrollar, en el Capítulo IV, un diseño para la automatización de un sistema de climatización particular del Instituto Central de Investigaciones Digitales ubicado en Ciudad de La Habana, Cuba.
2. En el Capítulo I se realizó un estudio de las psicrométrico de las propiedades del aire, lo que permitió adquirir mayores conocimientos del fluido de proceso. De esta manera, y basado en los principios de la psicrometría, se logró un diseño que permite mantener las variables de proceso dentro de los límites deseados.
3. Se estudió la zona de confort en el Capítulo I, logrando de esta manera conocer los límites deseados de las variables para obtener un ambiente confortable. De este modo, se pudo establecer un intervalo de valores de consigna para cada variable de proceso, que permite mantenerlas dentro de un rango en el que proporcionan bienestar y confort a los ocupantes de la sala climatizada.
4. En el Capítulo II se describieron los controladores lógicos programables que, en la actualidad, se encuentran comercialmente disponibles de diferentes fabricantes. Conocer sus diversas características, funcionalidades y modos de programación permitió un uso apropiado del PLC utilizado y explotando al máximo sus posibilidades. El diseño del sistema, desde el punto de vista de la programación del PLC, se logró de la manera más simple posible, dicha programación se desarrolló en el Capítulo IV.
5. Se analizó la unidad manejadora de aire, la cual es el elemento principal del sistema de aire acondicionado que se pretende automatizar. El estudio del funcionamiento específico de cada uno de sus componentes brindó los conocimientos necesarios para la elección correcta de los instrumentos requeridos. Este estudio se realizó en el Capítulo III.

6. Una vez analizado, en el Capítulo III, el funcionamiento general del sistema usando la unidad manejadora de aire, se plantearon las filosofías para un funcionamiento automatizado del mismo. De esta manera, se crearon las bases para el diseño de automatización que se desarrolla en el Capítulo IV.
7. Cada uno de los instrumentos utilizados, así como también el PLC, se describieron en detalle en el Capítulo IV. Conocer a fondo sus características técnicas fue fundamental para llevar a cabo un buen diseño de los paneles de control y fuerza desarrollados.
8. En el Capítulo IV se diseñó el Panel de Control. Para ello se desarrollaron los diagramas de conexión necesarios, mediante los cuales se interconectan cada uno de los instrumentos y dispositivos de control del sistema. De igual manera se diseñó el Panel de Fuerza, el cual, además de brindar protección a los equipos involucrados, permite monitorear el estado de las diferentes artes integrantes del sistema de climatización.
9. Se realizó la programación del PLC, lo cual se hizo de la manera más fácil y legible posible para cualquier persona con conocimientos medios en la materia. De manera similar, en el Capítulo IV, se configuró y se programó la Interfaz Hombre Máquina (HMI) que permite al usuario interactuar con el sistema de manera simple y amigable.
10. Para terminar se realizó, en el Capítulo V, un análisis aproximado de los costos que acarrearía llevar a la práctica el proyecto. Este es un aspecto fundamental para los inversionistas.

Se espera que el proyecto cumpla con las necesidades de automatización de la institución en cuestión. Además, es un propósito del autor que el presente trabajo sirva de base para futuros proyectos y que se modifique en base a los avances tecnológicos y a las nuevas necesidades que pudieran surgir, siempre que sea posible.

VI.2 Trabajos Futuros

Como consecuencia de la importancia que representa obtener un sistema de control lo más eficiente posible, ya sea a la hora de garantizar una mayor calidad del aire o para lograr un mayor ahorro energético, se hace la siguiente propuesta adicional al sistema.

Como ya se mencionó en la descripción del funcionamiento general, el sistema de aire acondicionado en cuestión presenta una compuerta de entrada de aire renovado y una compuerta de salida de aire en el conducto de retorno. Estas compuertas forman parte del sistema de renovación de aire, el cual es necesario para asegurar la limpieza y salubridad del mismo. Dichas compuertas, en el estado actual, tienen un cierto por ciento de apertura fijo, lo cual puede llegar a no ser conveniente.

Una apertura fija puede llegar a ser insuficiente si se diera el caso de que el salón se ocupe por demasiadas personas, es decir, por un número de personas superior al número para el cual se diseñó el sistema. En este caso el aire se viciaría ya que el porcentaje de apertura de las compuertas de entrada y salida de aire no sería suficiente para llevar a cabo la renovación de aire adecuada. Por el contrario, si el salón solo se ocupa por unas pocas personas, la apertura de las compuertas puede ser demasiado grande con respecto a lo que realmente se necesita. En este caso, el sistema está cambiando constantemente un aire no viciado debido. Por lo tanto, si bien es cierto que el aire que está entrando está completamente limpio, también es un aire que proviene del exterior y que el sistema tendría que enfriar cuando en realidad no es necesario. En conclusión el sistema se comporta de manera ineficiente.

Una propuesta de solución para esta problemática es sustituir las compuertas fijas por compuertas móviles, las cuales se puedan controlar en base a la calidad del aire en el interior de la habitación. Para ellos es necesario incluir un instrumento primario de medición que sea capaz de sensar la concentración de CO₂ de una muestra de aire.

A continuación se da una descripción de los instrumentos propuestos para llevar a cabo esta modificación. Los elementos necesarios son dos, un actuador para las compuertas móviles y un transmisor de concentración de CO₂. Este último, como se propone, es un instrumento que incluye transmisores de temperatura, humedad relativa y de CO₂. Las señales de este transmisor, para las mediciones de temperatura y humedad relativa, son exactamente las mismas que las empleadas

en el diseño de este proyecto. Esta compatibilidad permite que el transmisor usado en el presente trabajo sea sustituido por este sin necesidad de ninguna modificación.

Transmisor de temperatura, humedad relativa y CO₂

En la referencia [26] se pueden encontrar los datos técnicos correspondientes al transmisor de temperatura, humedad relativa y CO₂ usado en este proyecto. Dichos detalles se resumen a continuación.

Fabricante:

Siemens

Modelo:

QFM2062

Aplicación:

En instalaciones de ventilación y aire acondicionado, para mejorar el confort del ambiente y optimizar el consumo de energía, proporcionando ventilación controlada en función de la demanda.

La sonda obtiene:

- La humedad relativa del ambiente.
- La temperatura ambiente.
- La concentración de CO₂ de ambiente.

Los lugares de aplicaciones típicos son:

En salas de fiestas, salas de espera, pabellones de exposición y salas de exhibición, restaurantes, cantinas, centros comerciales, gimnasios, salas de venta, salas de conferencias, museos, teatros, cines, auditorios, oficinas, etc.

Principio de funcionamiento:

Este dispositivo cuenta con una sonda, la cual obtiene la humedad relativa del ambiente con un elemento sensible capacitivo de humedad, cuya capacitancia varía en función de la humedad relativa. Un circuito de medida electrónico convierte la señal del elemento sensible en una señal continua de 0 V c.c. a 10 V c.c., correspondiente al rango de humedad relativa de 0% a 100 %.

Para obtener los valores de temperatura, este sensor basa su funcionamiento en un hilo conductor de platino muy fino, el cual presenta una resistencia que depende linealmente de la temperatura. En el caso de la PT100, su valor es de 100Ω a 0°C . Esta variación es convertida en una señal de salida activa de 0 V c.c. a 10 V c.c.

Para medir la calidad de aire, este sensor obtiene la concentración de CO_2 mediante una medida de absorción de infrarrojos (NDIR). Este dispositivo cuenta con una cámara en la cual se dispersa el aire, una fuente de luz infrarroja emite un haz de luz de una determinada longitud de onda a través de la cámara y hacia un detector. Las partículas de CO_2 presentes en dicha cámara absorben la luz emitida, de esta manera el detector recibe solo la cantidad de luz no absorbida. La cantidad de luz que es absorbida es proporcional a la cantidad de partículas en el aire ambiente y esta por su parte a la señal de salida 0 V c.c. a 10 V c.c. resultante.

Datos técnicos generales:

- Tensión de alimentación: 24 V c.a. $50/60 \text{ Hz}$.
- Alcance de medida de temperatura: 0°C a 50°C .
- Señal de salida lineal de temperatura: 0 V c.c. a 10 V c.c. $\approx 0^\circ\text{C}$ a 50°C .
- Alcance de medida de humedad relativa: 0% a 100%
- Señal de salida lineal de humedad relativa: 0 V c.c. a 10 V c.c. $\approx 0\%$ a 100%
- Alcance de medida de CO_2 : 0 ppm a $2,000 \text{ ppm}$.
- Señal de salida lineal de CO_2 : 0 V c.c. a 10 V c.c. $\approx 0 \text{ ppm}$... $2,000 \text{ ppm}$.

Montaje e instalación:

En la pared interior de los conductos de aire, nunca tras cortinas, encima o cerca de fuentes de calor ni expuestas a la luz directa de focos. La sonda no debe exponerse a radiación solar directa.

Actuador rotativo de compuertas

En la referencia [27] se pueden encontrar los datos técnicos correspondientes al actuador rotativo de compuertas usado en este proyecto. Dichos detalles se resumen a continuación.

Fabricante:

Siemens

Modelo:

GCA161.1E

Aplicación:

En instalaciones de ventilación y aire acondicionado, para controlar el movimiento de compuertas de aire de hasta 3 m² de superficie. También puede ser utilizado en compuertas de aire en zonas clasificadas, con aplicaciones en protección contra el fuego y el humo.

Principio de funcionamiento:

Este dispositivo basa su principio de operación en un pequeño motor energizado eléctricamente. Este motor se acopla de manera mecánica al eje que transmite el movimiento rotatorio a las compuertas para su apertura o cierre. Para el control de su movimiento, este dispositivo recibe una señal eléctrica que puede variar entre 0 V c.c. y 10 V c.c. proporcional a un intervalo de giro de 0° a 90°. Su movimiento se realiza en un solo sentido y para el retroceso cuenta con un muelle que devuelve el eje a su posición inicial (0°) en el momento en que cae la tensión de control.

Datos técnicos generales:

- Control de posicionamiento de compuertas de aire.
- Tensión de entrada: 24 V c.a 50/60 Hz.
- Ángulo de rotación: 0° a 90°.
- Tiempo de carrera para ángulo de rotación 90°: 90 s
- Tiempo de cierre con muelle de retorno: 15 s.
- Señal de entrada para control: 0 V c.c a 10 V c.c. \approx 0° a 90°.
- Temperatura de operación: -32 °C a +55 °C
- Humedad relativa de operación: < 95 %.

Montaje e instalación:

Acoplado al eje de transmisión de la compuerta. Se puede instalar, dependiendo de la aplicación, de manera que su movimiento se realice en sentido de las manecillas del reloj o en contra. Esto condiciona que para casos de caída total de tensión la compuerta quede totalmente abierta o totalmente cerrada. La zona de montaje debe garantizar las condiciones de operación.

Es importante mencionar que la inclusión de estos dos elementos supone modificar el código de programación ya que se está aumentando un nuevo lazo de control al sistema. Además, desde el punto de vista del dimensionamiento eléctrico del sistema, es necesario realizar modificaciones.

Para finalizar la propuesta, en la **Figura VI.1** se muestra la manera en que quedaría el Diagrama de Instrumentación y Tuberías (DTI), si el proyecto se implementará con esta propuesta adicional.

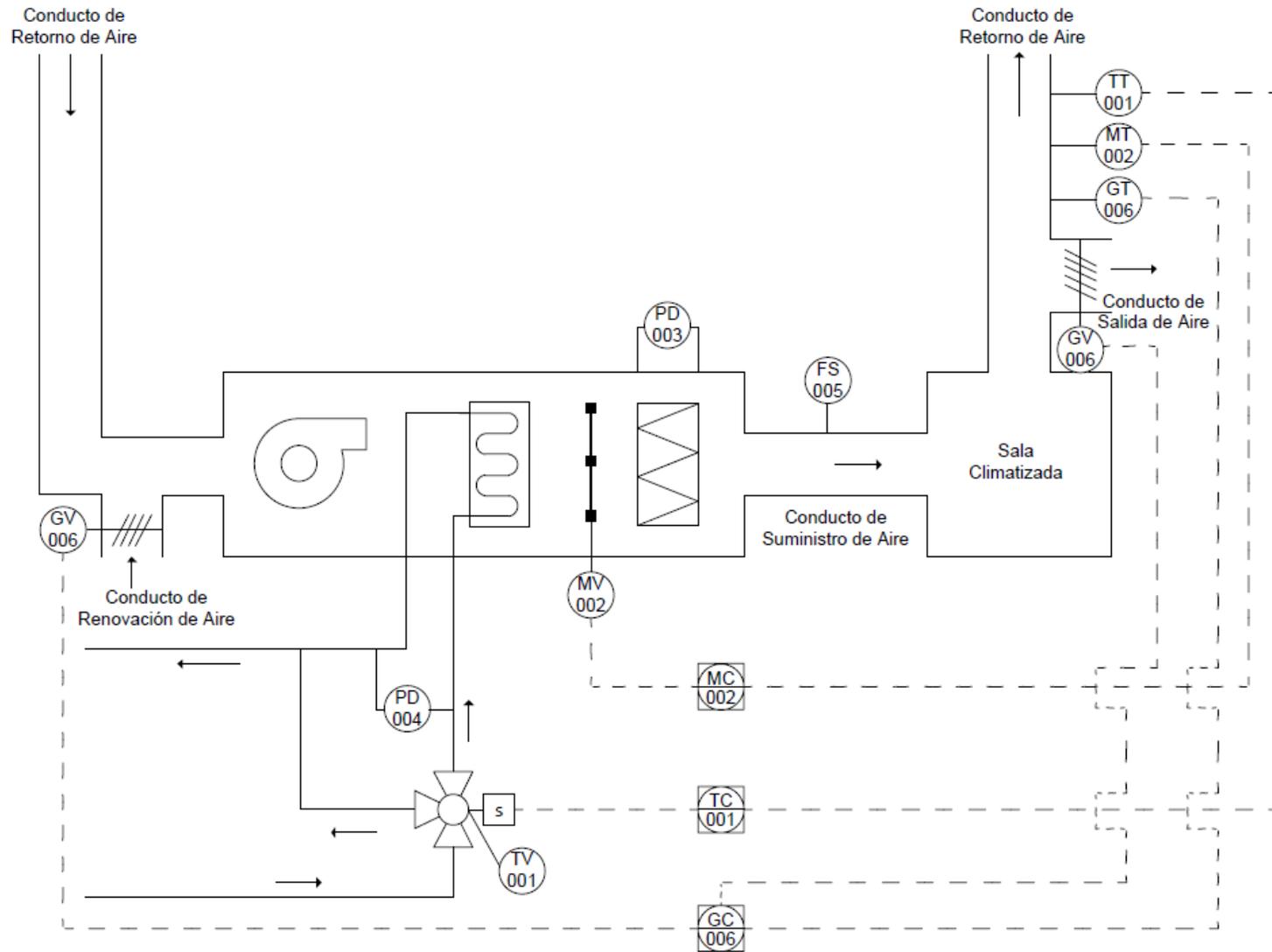


Figura VI.1 Diagrama de Tuberías e Instrumentación del sistema incluyendo un trabajo futuro.

Bibliografía

- [1] TORRES PUCACHAQUI, F. Control automático de sistemas de aire acondicionado con PLC's. Ing. Claudio Álvarez (dir.). Tesis de Ingeniería. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito 2008.
- [2] ASHRAE Handbook 2001, Fundamentals.
- [3] RIVERA LÓPEZ, A, RAMIREZ RODRÍGUEZ, R. Desarrollo de un control para cajas VAV con interpolación en sistemas de aire acondicionado con protocolo bacnet. Ing. Rubén Marchand Ortega (dir.). Tesis de Ingeniería. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México D.F. 2006.
- [4] TRICOMI, Ernest. El ABC del aire acondicionado. Editorial Marcombo. Segunda Edición, Barcelona 1992 (ISBN: 84-267-0237-6).
- [5] PITA, Edward. Acondicionamiento de Aire: Principios y Sistemas. Editorial CECSA. Primera Edición, México D.F. 1994 (ISBN: 968-26-1247-0).
- [6] CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. Manual de aire acondicionado. Editorial Marcombo. Quinta Edición, Barcelona 1990 (ISBN: 84-267-0115-9).
- [7] ESPINOSA LÓPEZ, R, [y otros]. Autómatas Programables. Trabajo investigativo. Instituto Tecnológico de La Laguna. México 2005.
- [8] BOLTÓN, W. Programable Logic Controllers. Editorial Elsevier Newnes. Cuarta Edición, Oxford 2006 (ISBN: 978-0-7506-8112-4).
- [9] JUNCO NOA, J. Diseño de la red de autómatas para los sistemas de climatización y abasto de agua del hospital William Soler. MSc. Héctor Garcini Leal (dir.). Tesis de Ingeniería. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), Facultad de Ingeniería Eléctrica, Ciudad de La Habana 2009.
- [10] OGATA, Katsuhico. Ingeniería de Control Moderna. Editorial Prentice-Hall, Inc. Tercera Edición, México D.F. 1995 (ISBN: 970-17-0048-1).
- [11] AMÉSTEGUI MORENO, M. Apuntes de control PID. Tesis de Maestría. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz 2001.

- [12] SALVADOR ESCODA S.A. Catálogo General: Unidades de Tratamiento de Aire. Barcelona 2008.
- [13] SOLER & PALAU S.A. Catálogo: Ventiladores de simple y doble aspiración. México 2009.
- [14] XXII Seminario de Ingeniería Hospitalaria. Criterios de diseño de sistemas eléctricos y ambientales en las áreas de riesgo de un hospital. Congreso Nacional. Barcelona 2004.
- [15] FLÄKT WOODS. Catálogo General: Unidades EU y EC de tratamiento de Aire. Suecia 2010.
- [16] TECHNIVEL S.A. Hoja de Datos de la Unidad Manejadora de Aire. Madrid 2007.
- [17] SIEMENS SWITZERLAND LTD. Sonda para humedad relativa y temperatura, modelo QMF2160. Manual de Instrucciones, 2006.
- [18] SIEMENS SWITZERLAND LTD. Interruptor de presión diferencial de aire, modelo QMB81. Manual de Instrucciones, 2003.
- [19] OMEGA. Interruptor de presión diferencial de agua, modelo QMB81. Manual de Instrucciones, 2001.
- [20] JOHNSON CONTROLS. Interruptor de flujo, modelo F61. Manual de Instrucciones, 2002.
- [21] SIEMENS SWITZERLAND LTD. Válvula de asiento de 3 vías con rosca macho, modelo VXG41. Manual de Instrucciones, 2005.
- [22] SIEMENS SWITZERLAND LTD. Accionadores Eléctricos, modelo SQX62. Manual de Instrucciones, 2006.
- [23] HBCONROLS. Válvula de corriente eléctrica, modelo HRT-25HDS. Manual de Instrucciones, 2007.
- [24] LS INDUSTRIAL SYSTEM. Controlador Lógico Programable, modelo Master-K120S. Manual de Instrucciones, 2008.

[25] SCHNEIDER ELECTRIC. Fuente de Alimentación, modelo ABL7CEM24012. Manual de Instrucciones, 2001.

[26] SIEMENS SWITZERLAND LTD. Sonda de calidad de aire ambiente, modelo QMF2162. Manual de Instrucciones, 2006.

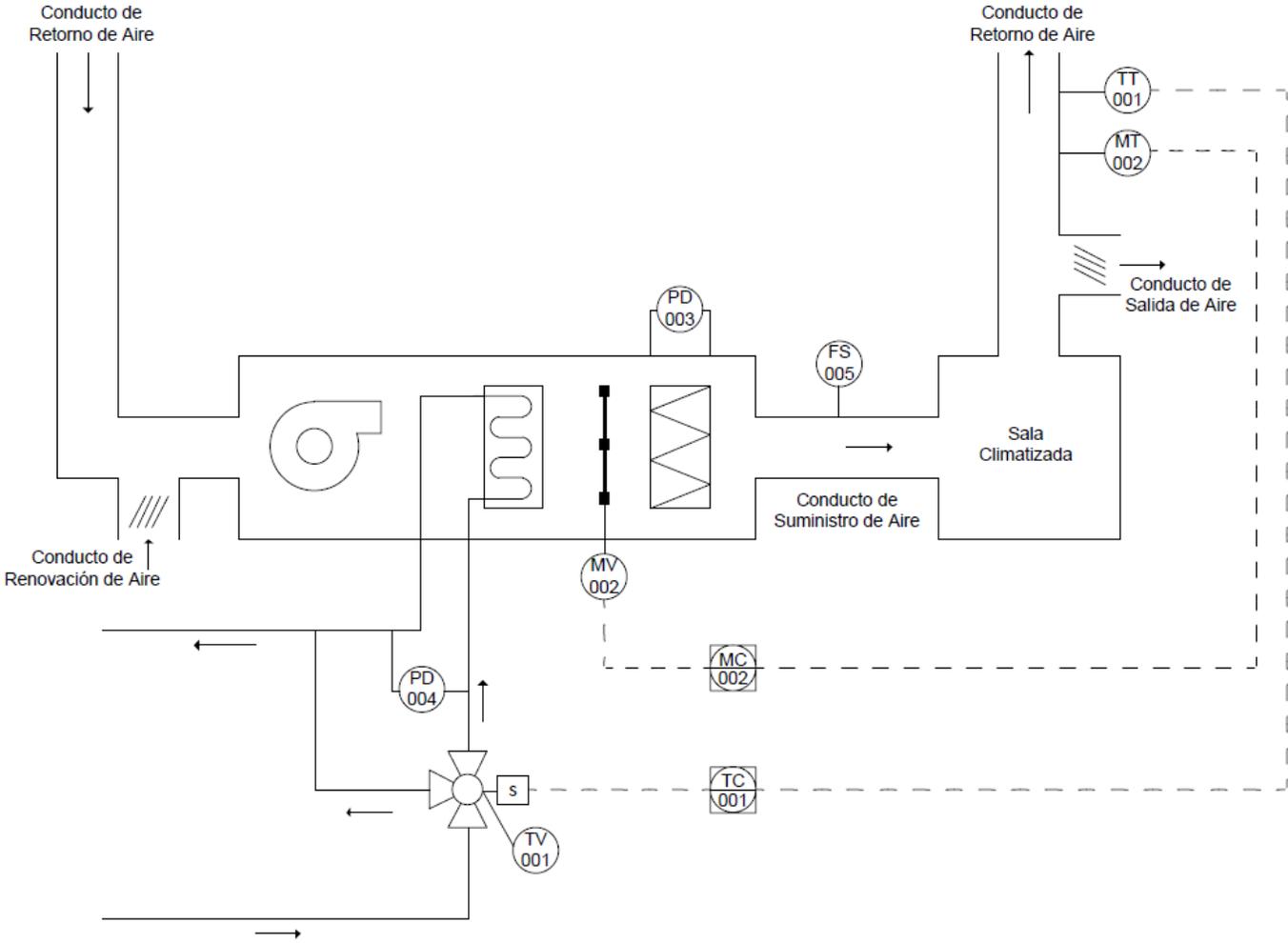
[27] SIEMENS SWITZERLAND LTD. Actuador de compuertas de aire, modelo GCA161.1E. Manual de Instrucciones, 2006.

[28] LS INDUSTRIAL SYSTEM. XGT Panel. Manual de Instrucciones, 2008.

Anexos

Anexo A

Diagrama de Tuberías e Instrumentación del proceso

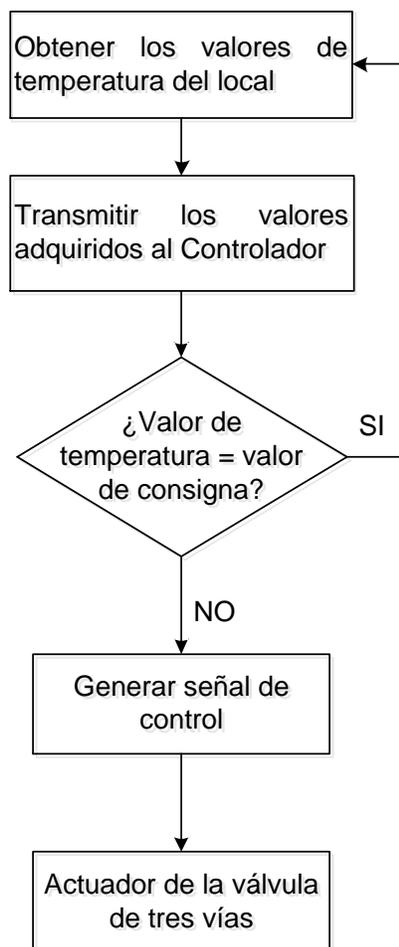


Anexo B

Secuencias para la Filosofía de Operación

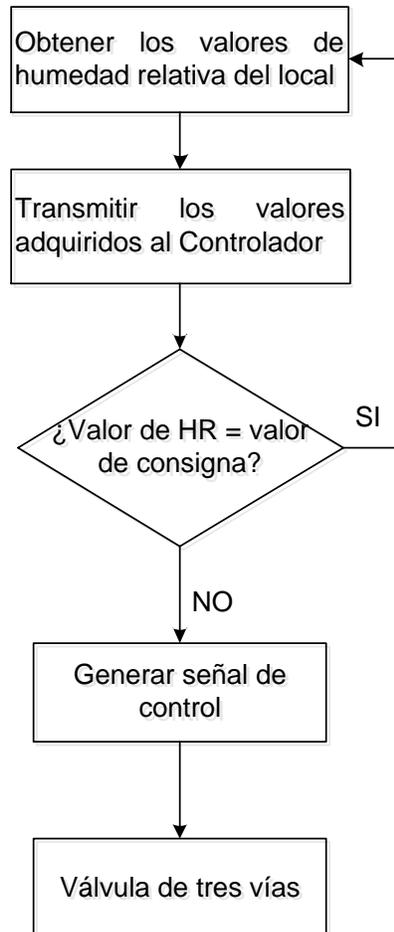
Anexo B.1

Secuencia de control de temperatura



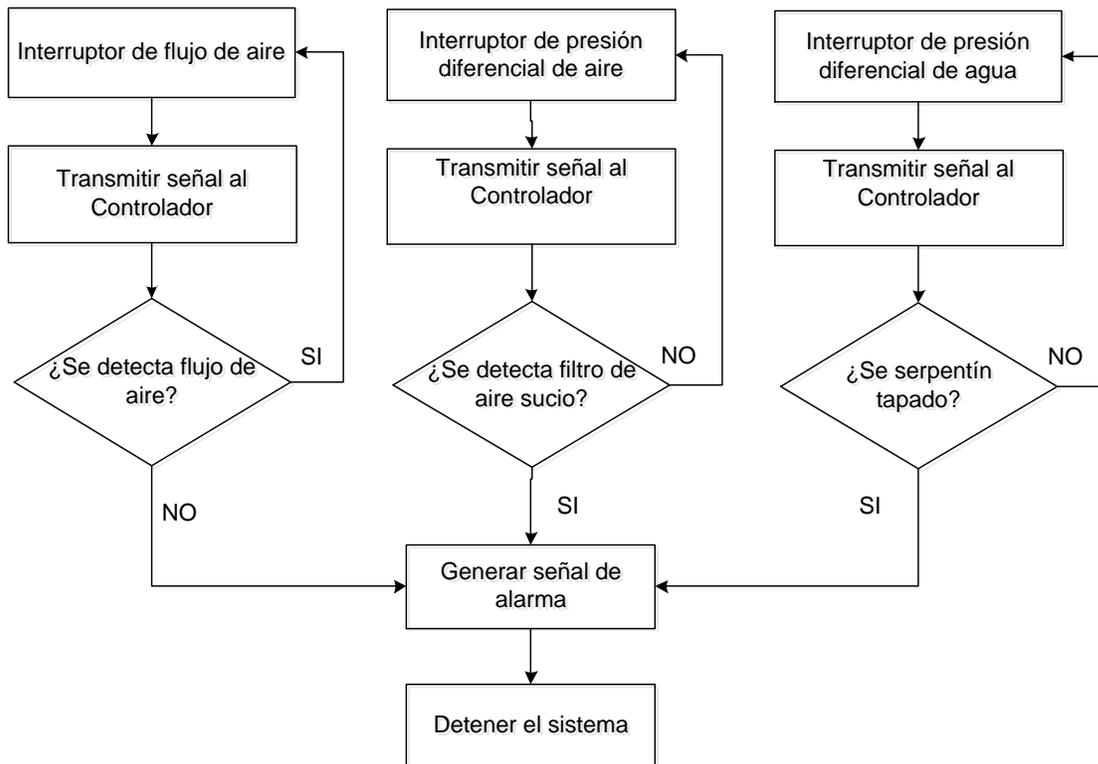
Anexo B.2

Secuencia de control de humedad relativa



Anexo B.3

Secuencia de control del sistema de movimiento, enfriamiento y filtración de aire



Anexo C

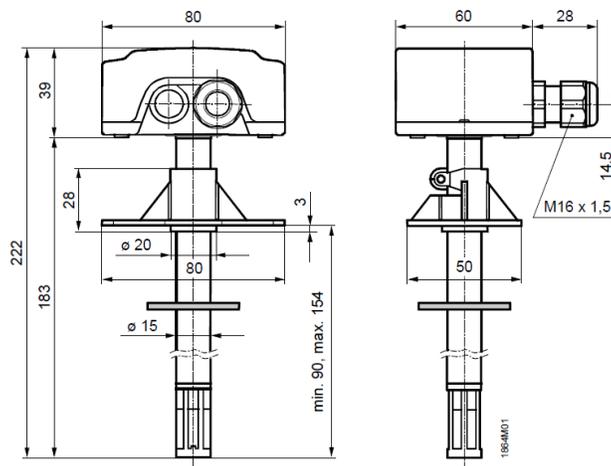
Instrumentos Primarios de Medición

Anexo C.1

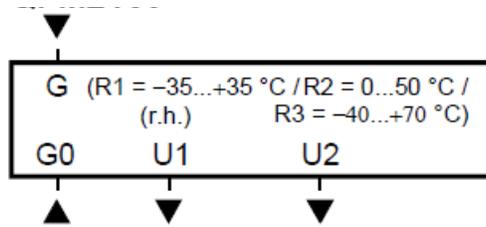
Sonda para humedad relativa y temperatura



Dimensiones (mm)



Terminales de conexión

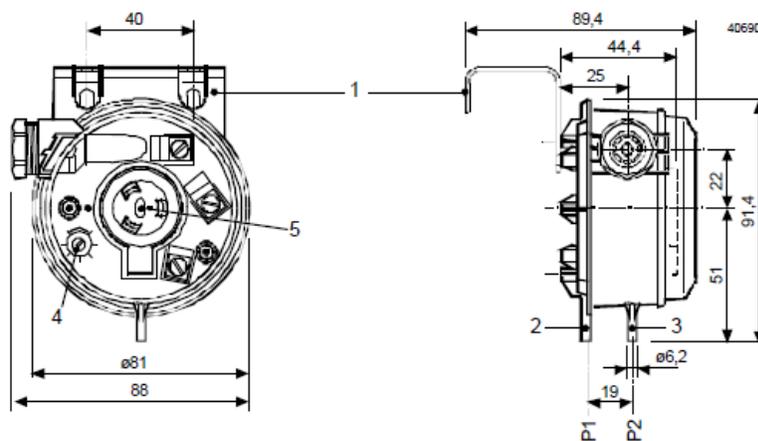


Anexo C.2

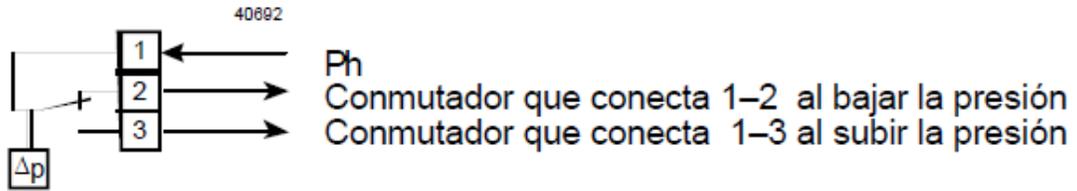
Interruptor de presión diferencial de aire



Dimensiones (mm)



Terminales de conexión

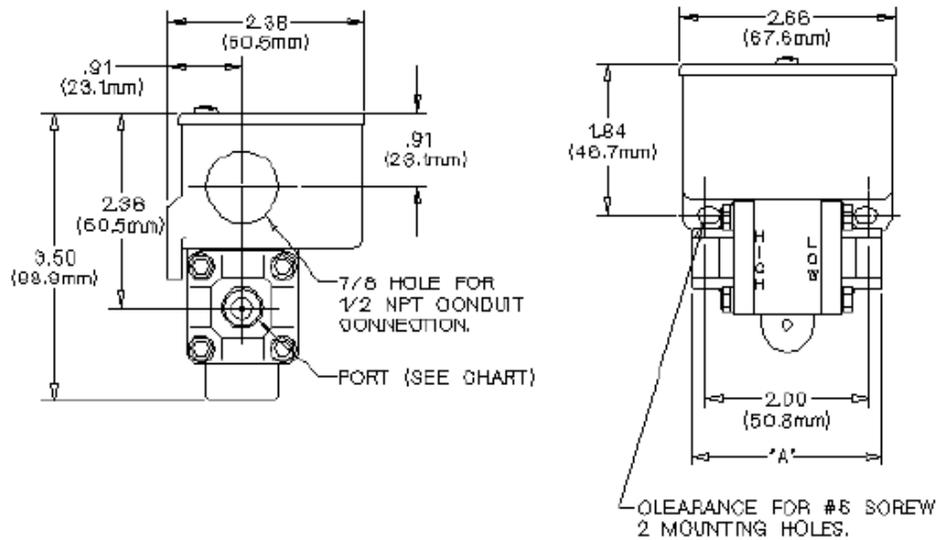


Anexo C.3

Interruptor de presión diferencial de agua

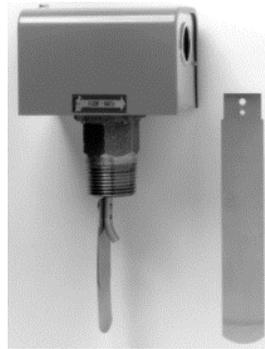


Dimensiones (mm)

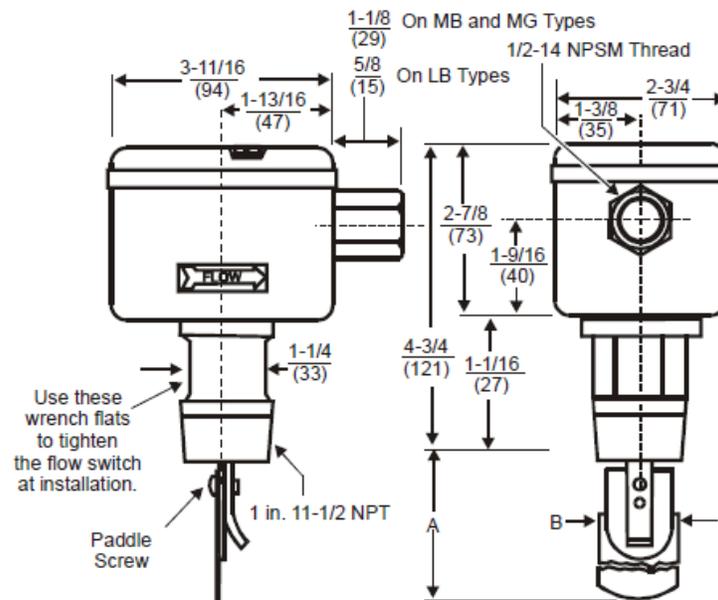


Anexo C.4

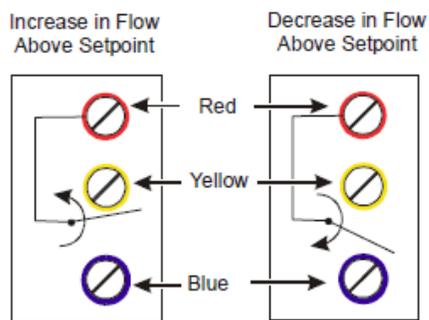
Interruptor de flujo de aire



Dimensiones (mm)



Terminales de conexión



Flow Action	Switch Closure
Increase	Red to Yellow
Decrease	Red to Blue

Anexo D

Instrumentos de Acción Final

Anexo D.1

Válvula de tres vías

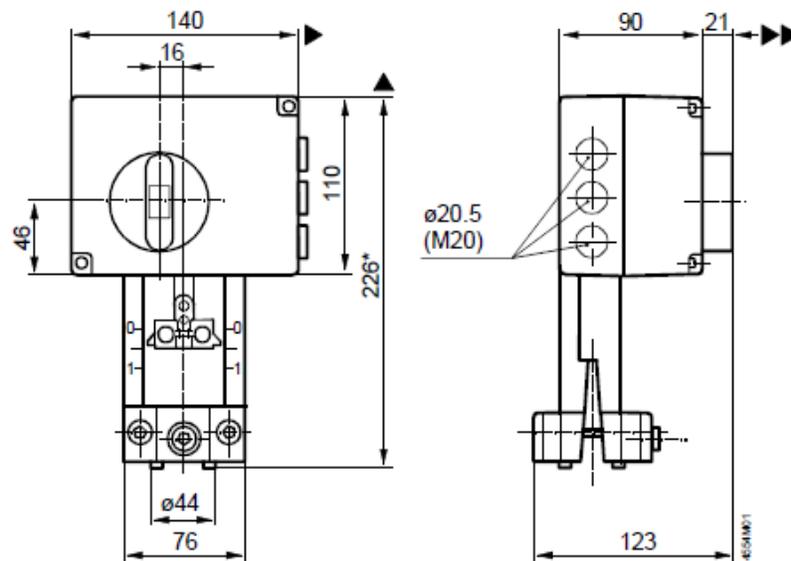


Anexo D.2

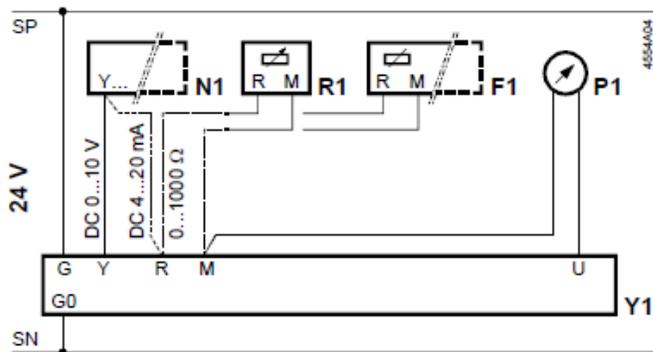
Actuador para válvula de tres vías



Dimensiones (mm)



Terminales de conexión



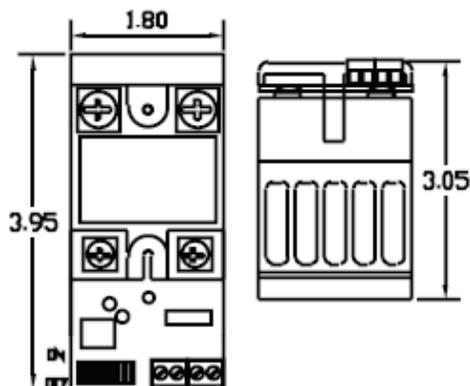
- Y1 Accionador
- N1 Controlador
- F1 Monitor de protección frente a heladas con salida 0...1000 Ω

Anexo D.3

Válvula de corriente eléctrica



Dimensiones (cm)



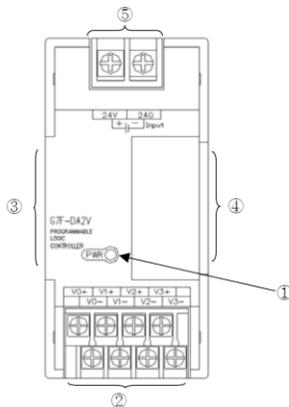
Anexo E

Controlador Lógico Programable



Anexo E.1

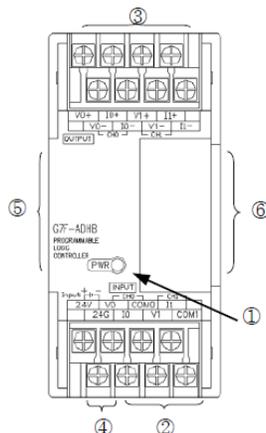
Módulo de salidas analógicas



No.	Names
①	RUN LED
②	Analog Output Terminal
③	Expansion Cable
④	Expansion Cable Connecting Terminal
⑤	External Power Supply Terminal (DC24V)

Anexo E.2

Módulo de entradas analógicas



No.	Names
①	RUN LED
②	Analog Input Terminal
③	Analog Output Terminal
④	External Power Supply Terminal (DC24V)
⑤	Expansion Cable
⑥	Expansion Cable Connecting Terminal

Anexo E.3

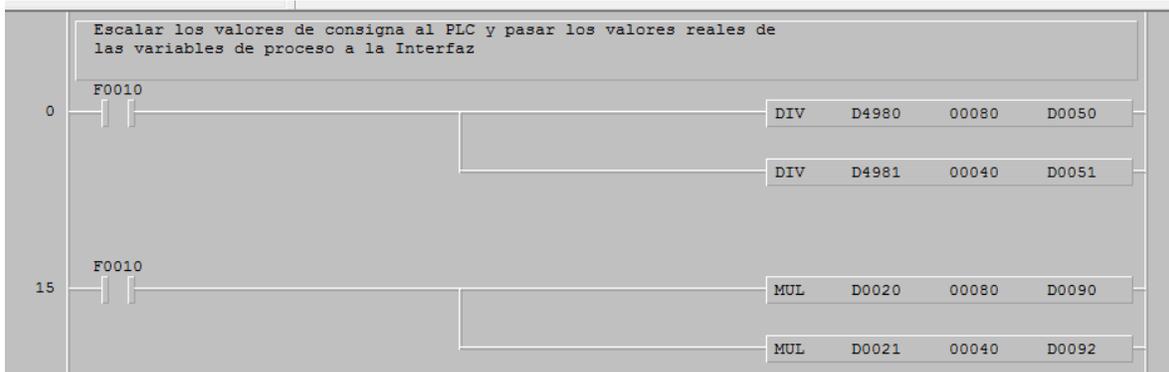
Módulo de entradas analógicas

No.	Item	Specifications				References
1	Operating ambient Temperature	0 ~ 55 °C				
2	Storage ambient Temperature	-25 ~ +70 °C				
3	Operating ambient Humidity	5 ~ 95%RH, non-condensing				
4	Storage ambient Humidity	5 ~ 95%RH, non-condensing				
5	Vibrations	Occasional vibration			-	IEC 61131-2
		Frequency	Acceleration	Amplitude	Sweep count	
		10 ≤ f < 57Hz	-	0.075mm	10 times for each X, Y, Z axis	
		57 ≤ f ≤ 150Hz	9.8m/s ² {1G}	-		
		Continuous vibration				
		Frequency	Acceleration	Amplitude		
10 ≤ f < 57Hz	-	0.035mm				
		57 ≤ f ≤ 150Hz	4.9m/s ² (0.5G)	-		
6	Shocks	<ul style="list-style-type: none"> Maximum shock acceleration: 147 m/s² {15G} Duration time: 11ms Pulse wave: half sine pulse (3 shocks per axis, on X, Y, Z axis) 				IEC 61131-2
7	Noise Immunity	Square wave Impulse noise	± 1,500 V			LGIS' Internal Standard
		Electronic discharge	Voltage: 4 kV (Discharge by contact)			IEC 61131-2, IEC 1000-4-2
		Radiated electromagnetic field noise	27 ~ 500 MHz, 10 V/m			IEC 61131-2, IEC 1000-4-3
		Fast transient & burst noise	Item	Power supply	Digital I/O (24V and up)	Digital I/O (less than 24V) Analog I/O Interface
Voltage	2kV		1kV	0.25kV		
8	Atmosphere	Free of corrosive gases and excessive dust				
9	Altitude	Up to 2,000m				
10	Pollution degree	2				
11	Cooling method	Air-cooling				

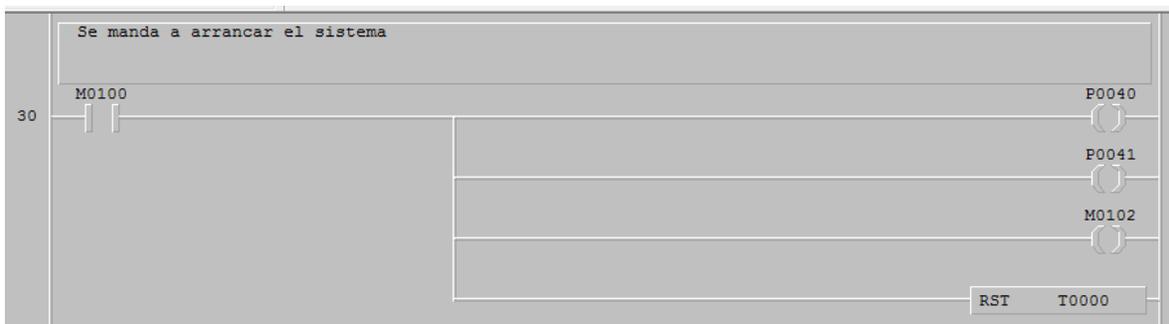
Anexo F

Programación del Controlador Lógico Programable

Bloque de Instrucciones 1: En este bloque, de manera continua se leen los valores reales de las variables que se miden a través de los instrumentos primarios y se escalan a la HMI, de manera que esta siempre muestre la temperatura y humedad relativa del ambiente, incluso cuando el sistema esté apagado.

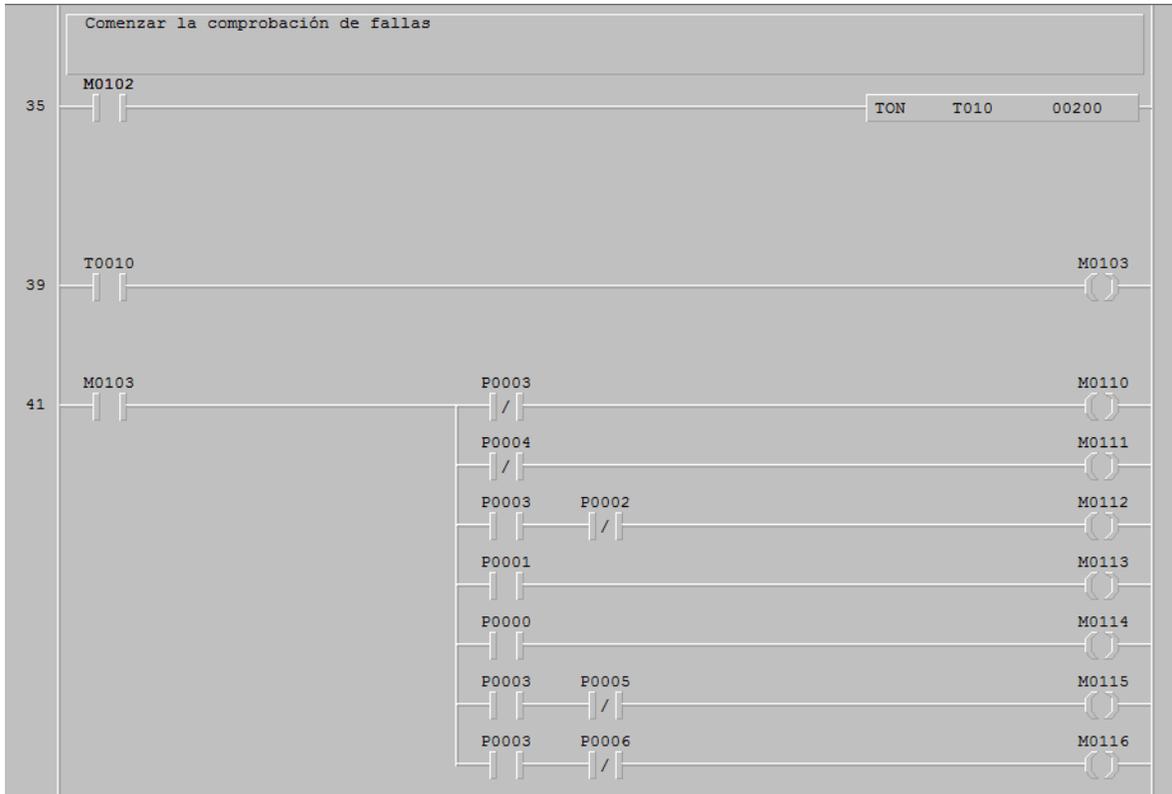


Bloque de Instrucciones 2: En este bloque, se espera por la señal de arranque del sistema, que proviene de la tecla correspondiente de la HMI. Una vez pulsada esa tecla se cierran los contactos para arrancar el motor y el banco de resistencia. A su vez, se inicia un temporizador que mide un tiempo de 2 segundos, dicho tiempo se utiliza para esperar que el motor termine su rampa de arrancado.

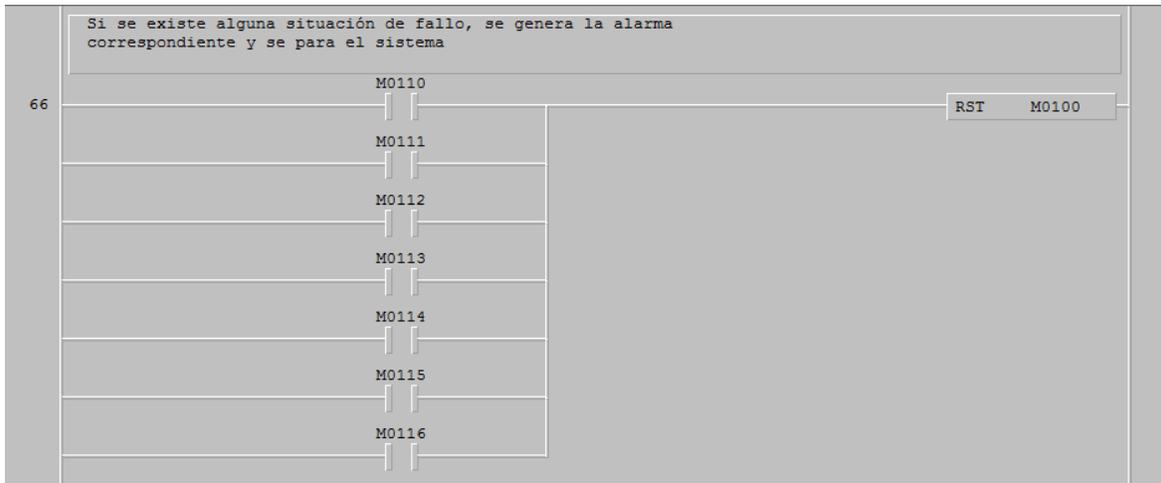


Bloque de Instrucciones 3: Cuando el temporizador genera una señal que indica que se ha cumplido el tiempo para el cual ha sido configurado, se inicia una secuencia de comprobación de fallas del sistema. En esta secuencia se revisa el estado general del sistema, usando las señales de los contactores dispuestos para este fin. Cualquier falla que se produzca en el sistema, genera un cambio de las

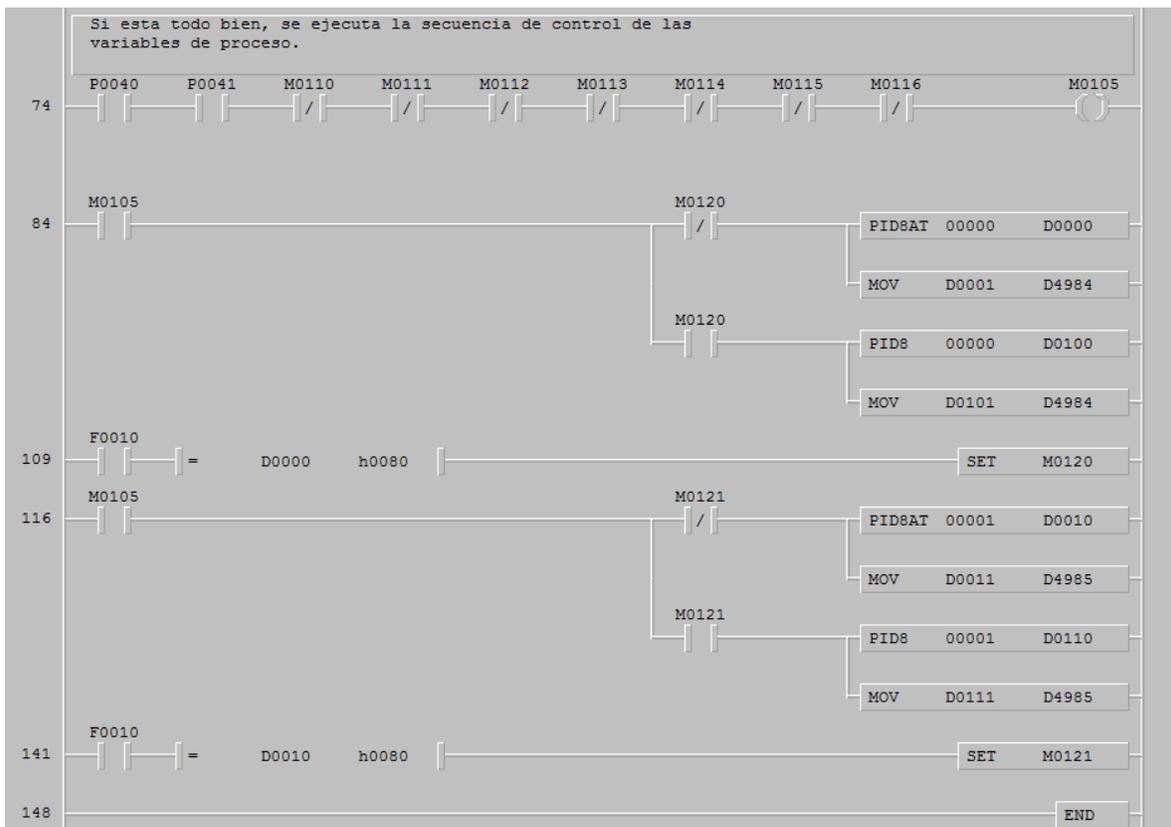
condiciones mostradas anteriormente y por lo tanto, se activa, al menos una de las salidas de este bloque de secuencias.



Bloque de Instrucciones 5: En el caso de existir alguna falla y cerrarse una de las salidas del bloque anterior, se activará la marca correspondiente a esa salida, las cuales se pueden ver en este bloque. En ese momento, el la secuencia ordenará el apagado del sistema. A su vez, se generará una alarma en la pantalla de la HMI.



Bloque de Instrucciones 6: Por otra parte y para finalizar, si se cumplen las condiciones, es decir, que no se genera ningún estado anormal de funcionamiento del sistema, se inicia la ejecución de los dos lazos PID para controlar el sistema. De esta manera finaliza la secuencia del PLC.

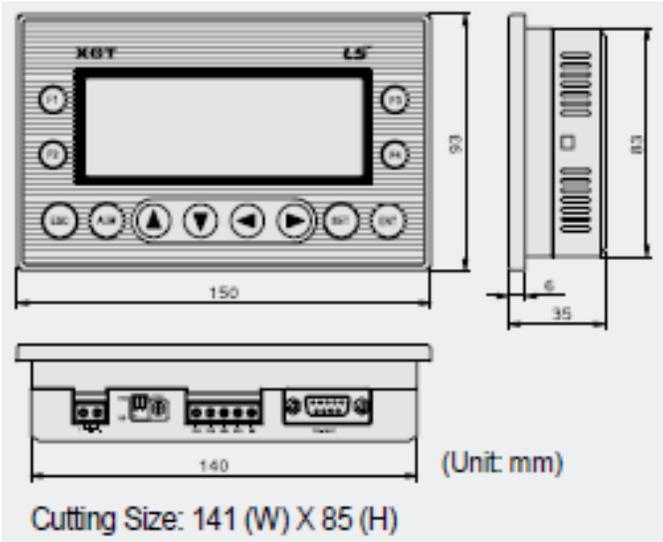


Anexo G

Interfaz Hombre Máquina



Dimensiones (cm)



Anexo G.1

Pantallas de la Interfaz Hombre Máquina



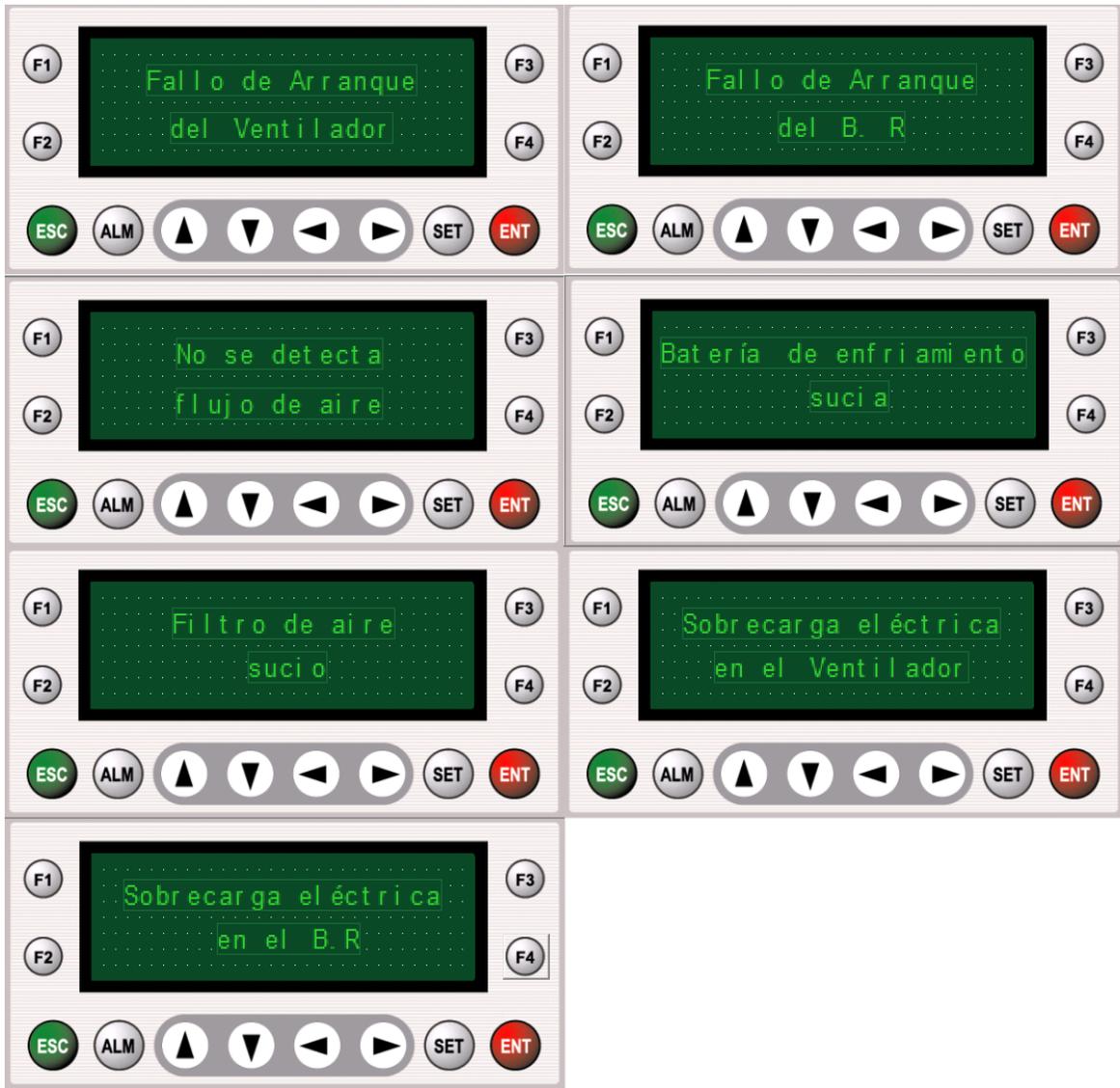
Pantalla No.1: Inicio del sistema



Pantalla No.2: Muestra los valores actuales de las variables, en cada momento.



Pantalla No.3: Se ajustan los valores de consigna de las variables.



Pantallas de las diferentes alarmas del sistema.

Anexo H

Carta de Aval firmada y sellada por el ICID



Ciudad de la Habana 26 de abril del 2011

AVAL

Proyecto de Automatización del Sistema de Climatización del Comedor del Instituto Central de Investigación Digital (ICID)

Por este medio hacemos saber, que el compañero **Roger Valdés Fernández**, se encuentra colaborando con nuestra entidad desarrollando el trabajo de investigación “**Propuesta de Automatización con PLC para un Sistema de Climatización Central**”.

Es de interés para nuestro centro la realización de este proyecto ya que posibilitará crear, desarrollar e introducir en nuestras instalaciones un sistema de control para uno de los equipos de climatización, lo cual es parte de nuestras tareas a cumplir durante el año en curso, sirviendo también como base para futuros proyectos similares.

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal line. To the right of the signature is a circular blue stamp. The stamp contains the text 'INSTITUTO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN DIGITAL' around the top edge, 'ICID' in the center, 'DIRECCIÓN DE TECNOLOGÍA Y ROBOTICIA' around the bottom edge, and 'M I C' at the very bottom. There are two small stars on either side of the 'M I C' text.

Ing. Arian Morell Pérez

**Jefe de Departamento
Desarrollo de Proyectos**