



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

CONTROL Y MONITOREO DE UN SISTEMA DE AGUA  
HELADA ENFRIADO POR AIRE, DE VOLUMEN VARIABLE

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIEROS EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

JORGE DANIEL ESPINOZA LEAL

LAURO FERNANDO SALVATIERRA BRAVO

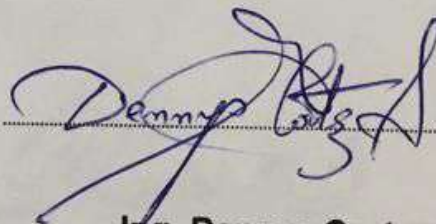
GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



**Ing. Wilton Agila**  
PROFESOR EVALUADOR



**Ing. Denny Cortez**  
PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Jorge Daniel Espinoza Leal



Lauro Fernando Salvatierra Bravo

## **RESUMEN**

El presente trabajo plantea el desarrollo e implementación de una estrategia de control para un sistema de agua helada enfriado por aire. Se llevara a cabo las simulaciones del programa de control y se simulará la interfaz gráfica para el monitoreo y control del mismo.

Para el desarrollo del sistema de control se considerara, aspectos referentes al tipo de sistema de agua a usarse, en este caso será un sistema solamente con bombas primarias de velocidad variable.

La programación será realizada mediante el software de Johnson Controls "CCT" para sistemas HVAC (Heating Ventilating Air Conditioning). El mismo que permitirá implementar los programas de control para el sistema de agua helada, como para las unidades manejadoras de aire en caso de que se lo requiera. La información del sistema será monitoreada usando la herramienta Metasys de Johnson Controls, esta adquiere la información de todos los dispositivos de campo y la muestra de una manera centralizada para el fácil manejo de los equipos.

## ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN EXPRESA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1.1 Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Planteamiento del problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Factores que determinan la propuesta del proyecto.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.1 Ahorro de energía en la climatización.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.2 Diseño para el sistema de climatización.....</b>	<b>5</b>
CAPÍTULO 2.....	6
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL.....	6
<b>2.1 Planta de agua.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Unidad manejadora de aire.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Fancoils.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Diagrama de flujo planta de agua helada.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Diagrama de flujo unidad de aire.....</b>	<b>28</b>
<b>2.6 Arquitectura de control.....</b>	<b>30</b>

<b>2.7 Diseño del programa para el PLC</b> .....	33
CAPÍTULO 3.....	36
3.    EVALUACIÓN DE PROGRAMAS DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN E INTERFACE DE USUARIO.....	36
<b>3.1. Interface de usuario</b> .....	36
<b>3.2. Evaluación del sistema de agua</b> .....	42
<b>3.2.1. Parametrización</b> .....	43
<b>3.2.2. Evaluación variación de velocidad</b> .....	45
<b>3.2.3. Evaluación Arranque chiller</b> .....	46
<b>3.3. Evaluación UMA</b> .....	47
<b>3.3.1. Parametrización</b> .....	48
<b>3.4. Análisis de costes</b> .....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquemático Sistema de climatización.....	7
Figura 2.2: Esquemático Planta de Agua.....	9
Figura 2.3: Esquemático Manejadora de Aire.....	14
Figura 2.4: Esquemático Fancoils.....	17
Figura 2.5: Diagrama Arranque Inicial.....	19
Figura 2.6: Diagrama Arranque Chillers.....	20
Figura 2.7: Diagrama Alarma por válvula de aislamiento.....	21
Figura 2.8: Diagrama selección de bombas.....	22
Figura 2.9: Diagrama Control de velocidad de bombas.....	23
Figura 2.10: Diagrama Rotación de Bombas.....	24
Figura 2.11: Diagrama funcionamiento válvula de bypass.....	25
Figura 2.12: Diagrama para el ingreso de chillers adicional.....	26
Figura 2.13: Diagrama generación de alarma de sistemas.....	27
Figura 2.14: Diagrama Reset de alarmas.....	28
Figura 2.15: Diagrama de flujo de unidad manejadora .....	29
Figura 2.16: Arquitectura de control.....	32
Figura 2.17: Bloque de control habilitación chillers .....	33
Figura 2.18: Bloque de control velocidad bombas.....	34
Figura 2.19: Bloque de control de temperatura.....	35
Figura 3.1: Interfaz Gráfica.....	37

Figura 3.2: Grafico plano del edificio.....	38
Figura 3.3: Grafico de equipo de aire .....	39
Figura 3.4: Tendencia de temperatura en termostato.....	40
Figura 3.5: Horario de encendido planta de agua helada.....	41
Figura 3.6: Horario de encendido manejadoras de aire.....	41
Figura 3.7: Parámetros iniciales sistema de agua helada.....	42
Figura 3.8: Parámetros de eficiencia del sistema de agua helada.....	43
Figura 3.9: Parámetros de eficiencia de bombas.....	44
Figura 3.10: Secuencia de arranque inicial.....	45
Figura 3.11: Ingreso de chillers adicionales.....	46
Figura 3.12: Funcionamiento válvula de bypass.....	47
Figura 3.13: Simulación programa de UMA.....	48



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variables planta de agua helada.....	12
Tabla 2: Variables Unidad Manejadora de Aire.....	15
Tabla 3: Variables Fancoils.....	18
Tabla 4: Presupuesto.....	51

## ABREVIATURAS

HVAC	Calefaccion, Ventilacion, Aire acondicionado
UMA	Unidad Manejadora de Aire
CH#-A	Alarma de chiller#
CH#-S	Estado de chiller#
CHW-DP	Diferencia de presion de agua helada
CHW#ISOV-S	Estado válvula de aislamiento #
PCHW-F	Flujo de agua helada primario
PCHWP#-S	Estado bomba primaria#
PCHWR-T	Temperatura de retorno de agua helada
PCHWR-S	Temperatura de suministro de agua helada
CH#-EN	Habilitación Chiller#
CH#CHWISOV-O	Válvula de aislamiento de chiller#
CHWBYPV-O	Válvula de bypass de agua helada
PCHWP#-C	Comando bomba primaria #
PCHWP#-O	Velocidad bomba primaria #
CLG-POS	Posición de la válvula
PFILT-S	Estado de pre filtro
RA-SD	Detector de humo en aire de retorno
SF-S	Estado ventilador de suministro
ZN-SP	Setpoint de temperatura de zona
ZN-T	Temperatura de zona
CLG-O	Apertura de la válvula
OCC-MODE	Modo de ocupación
SF-C	Comando de ventilador de suministro

# CAPITULO 1

## 1. INTRODUCCION

La automatización de un mecanismo, dispositivo, sistema o proceso tiene entre otras resultantes ciertas bondades, entre ellas la consecución de varios acontecimientos que se reflejan en la medida de como el hombre tiene la capacidad física y mental para innovar dando lugar a conseguir metas, propósitos y resolver situaciones en cualquier momento para dicha labor. Siendo, quizás la manera más relevante de conseguir de forma ágil, segura y económica las operaciones eficientes de los diferentes dispositivos, equipos e instalaciones con las que se puede contar o tener en la mayoría de los procesos y sistemas de cualquier edificio, obra civil o industrial.

En la antigüedad, el control de los procesos se lo realizaba en forma neumática y en su ocasión eran los de mayor aceptación y excelencia para los controles que se manejaban en cuanto a requerimientos de ventilación, calefacción y aire acondicionado para la mayoría de obras civiles e industriales. Con el correr y el devenir de los tiempos se han planteado, desarrollado y puesto en práctica muchos tipos y diseños de sistemas para requerimientos de control y monitoreo de procesos en acondicionamiento de aire.

La automatización de obras civiles, industrias, y edificios con su control inteligente, constituyen de manera novedosa una nueva tecnología que permite cambiar radicalmente los paradigmas y conceptos del control tradicional electromecánico en cuanto a su complejidad y diferentes problemas de instalación. En el caso concreto de los sistemas de aire acondicionado, la automatización de su proceso permite garantizar las condiciones de confort en el ambiente a climatizar.

Ahora existen sistemas que permiten obtener un óptimo control así como también la supervisión de todas las variables que intervienen el proceso, y la decisión en cuanto a invertir se refiere para el control y protección de los equipos automatizados son de exclusiva decisión del propietario, la misma

que debe ser estudiada y analizada con asesoría de los ingenieros de proyecto, tomando en cuenta el destino y la función óptima para el cual fue destinada la aplicación del equipo y su operación.

Hoy en día, con el auge y el desarrollo de las nuevas tecnologías; entre ellas las comunicaciones y el internet, se han creado protocolos que permiten comunicar y transmitir datos a gran escala, así como también el uso de aplicaciones gráficas y software que permiten visualizar mediante pantallas los equipos, tareas de control, alarmas de una industria; facilitando así el trabajo de los operadores de servicio y mantenimiento de los equipos. Se debe destacar el ahorro a nivel energético que se puede alcanzar cuando los equipos de una instalación en el caso particular de un sistema de climatización que opera de manera autónoma.

## **1.1 Antecedentes**

El desarrollo de la ciudad de Guayaquil en los últimos años ha implicado la construcción de nuevos edificios, para diferentes actividades que se realizan en estos. Los proyectos han sido desarrollados bajo la idea de “edificios verdes”, esto obliga a los constructores a buscar sistemas eficientes y amigables con el medio ambiente para su edificio y que cumplan la satisfacción de sus ocupantes.

Una de las primordiales razones que dieron origen a la eficiencia energética es la económica, en búsqueda de minimizar el excesivo consumo de energía, y el objetivo de mantener óptimos niveles de confort en cuanto a temperatura se refiere para climatizar el interior de las edificaciones; además, esto responde a la preocupación ambiental, ya que al minimizar la demanda energética a consumir, se reduce el uso de combustible fósil.

En respuesta a esto aparecen nuevos sistemas de climatización a base de agua, que reemplazan los sistemas antiguos de máquinas de expansión directa. Estos sistemas de agua consisten en grandes equipos enfriadores que reducen la temperatura del agua, y a su vez

por medio de bombas el agua es enviada al edificio en donde a través de los diferentes equipos de aire se usa el agua para enfriar el edificio. Para aumentar la eficiencia de estos sistemas de agua se requiere de un sistema de control, de este modo se consigue ahorro energético en

momentos que se requiera baja carga de frío. Con la implementación

del sistema de control y una interfaz gráfica, el usuario puede administrar el edificio, conocer lo que está sucediendo en el sistema de agua helada en tiempo real.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Con el fin de tener un buen diseño de control y monitoreo general del sistema de aire acondicionado y dar confort a una de las plantas de un edificio, se vio la necesidad de automatizarla. Dicha automatización estará ligada a la supervisión de todos los elementos y equipos que conforman el sistema mediante la visualización en pantallas terminales, que a su vez contienen la programación mediante software para monitoreo y detección de fallas, las mismas que estarán ubicadas en lugares estratégicos.

**El trabajo propuesto** plantea el desarrollo de un sistema de control para la regulación un sistema de agua helada enfriada por aire. Se llevara a cabo las simulaciones del programa de control y se implementara la interfaz gráfica para el monitoreo y control del mismo.

Para el desarrollo del sistema de control se considerara, aspectos referentes al tipo de sistema de agua a usarse, en este caso será un sistema solamente con bombas primarias de velocidad variable.

La programación será realizada mediante el software de Johnson Controls "CCT" para sistemas HVAC (Heating Ventilating Air

Conditioning). Por medio de este software se realizan los programas de control para el sistema de agua helada, como para las unidades manejadoras de aire (UMAS) en caso de que se lo requiera. La información del sistema será realizada usando la herramienta Metasys de Johnson Controls, esta adquiere la información de todos los dispositivos de campo y la muestra de manera centralizada para el fácil manejo de los equipos.

### **1.3 Factores que determinan la propuesta del proyecto**

En base a las bondades y prestaciones que la automatización brinda a los sistemas de climatización, se consigue reducir el consumo energético, la mano de obra y optimizar los recursos, ya que se cuenta con un sistema que funciona de manera automática minimizando todos los procesos y permitiendo a los operadores del sistema realizar otras tareas que no implique la supervisión constante del sistema, el cual garantizara eficiencia y ahorro de energía en los procesos que se lleven a cabo en la climatización de edificios.

#### **1.3.1 Ahorro de energía en la climatización.**

Actualmente, el costo representativo por rubros de energía es de vital importancia en una especialidad como lo es la climatización automatizada en edificios, ya que se requiere de elevados valores de consumo y demanda energética, sea esta de origen eléctrica o combustible; por lo que su reducción juega un papel muy importante en los criterios de diseño. Para lo cual, existen novedosas tecnologías y vías, que se enfocan exclusivamente en el ajuste preciso de las necesidades, la utilización no convencional de fuentes de energía, el aumento de la eficiencia y la recuperación de la energía residual, independientemente de utilizar materiales y equipos de gran rendimiento.

El uso apropiado del tipo de aislamiento térmico del edificio, es la clave fundamental, ya que implica el uso de equipos de aire

acondicionado de menor escala, con un menor consumo energético, durante la vida útil del edificio. Y al mismo tiempo, el aislamiento térmico reduce las pérdidas de calor en los equipos, unidades manejadoras de aire (UMAS), redes de conducto y tuberías.

### **1.3.2 Diseño para el sistema de climatización.**

El incremento de la eficiencia energética es otro aspecto a considerar, ello se logra mediante fraccionamiento de la potencia en los equipos encargados de la climatización, lo que permite adaptar la producción de energía térmica a la demanda de calor del sistema, parcializando el funcionamiento de las unidades generadoras de frío a fin de conseguir en cada instante el régimen de potencia muy próximo al de alto rendimiento.

Con el control de la climatización, se logra mantener los parámetros de humedad, temperatura y calidad del aire, dentro de los márgenes adecuados según lo requiera el usuario y es donde se centra las tareas del trabajo propuesto.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL.**

El sistema de climatización a automatizar se conoce como sistema primario variable, el mismo que consiste en una planta de agua helada formada por el circuito primario de agua y bombas de velocidad variable para regular el flujo de agua según lo requiera el edificio.

Las unidades manejadoras de aire (UMA) son las encargadas de enfriar los pasillos del edificio; mientras que los equipos tipo fancoils se encargan de enfriar cada cuarto del edificio.

La figura 2.1 muestra un diagrama esquemático del circuito de climatización compuesto por la producción y la carga.



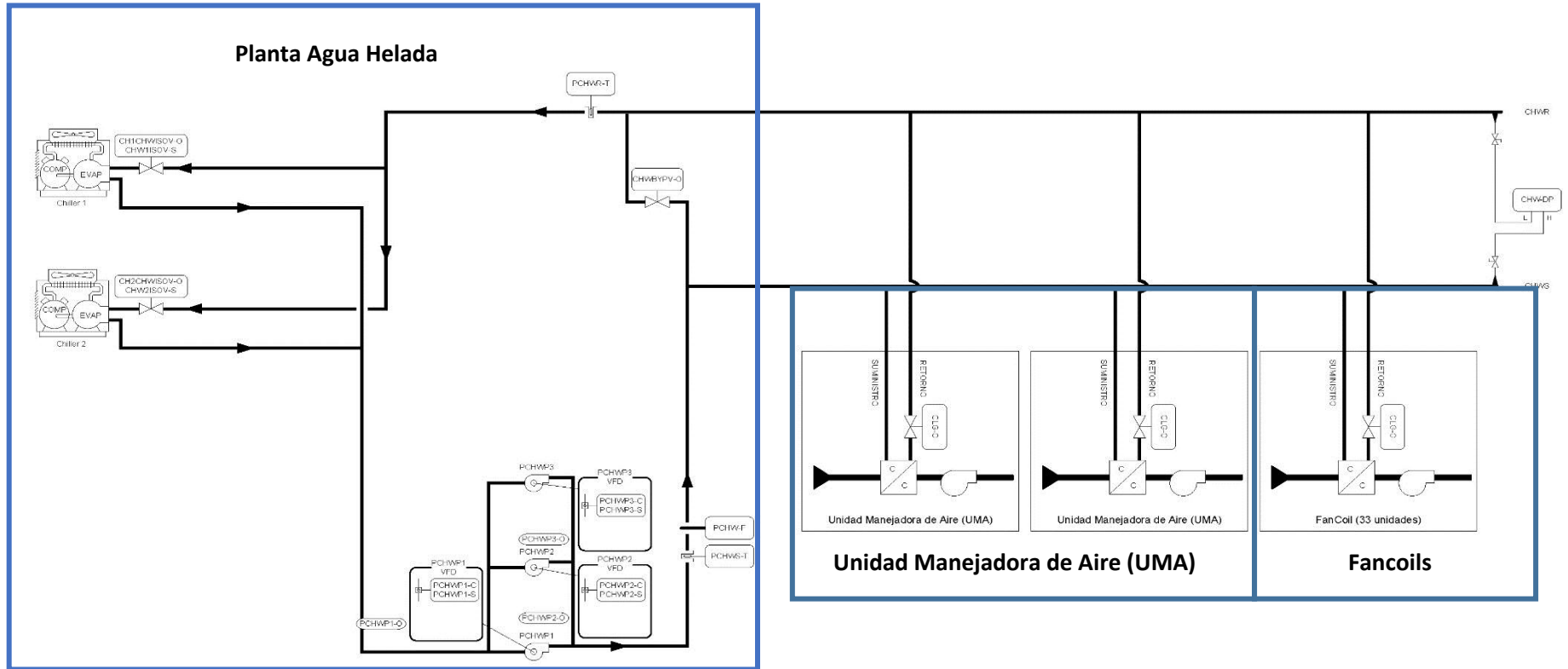


Figura 2.1: Esquemático Sistema de climatización

## **2.1 Planta de agua helada**

La planta de agua tiene como elementos, dos chillers, tres bombas con sus respectivos variadores de frecuencia, dos válvulas de aislamiento de dos vías y una válvula de bypass, Figura 2.2.

Los sensores usados en la planta de agua, son dos sensores de temperatura, modelo termocupla, un sensor de flujo de agua y un sensor diferencial de presión.

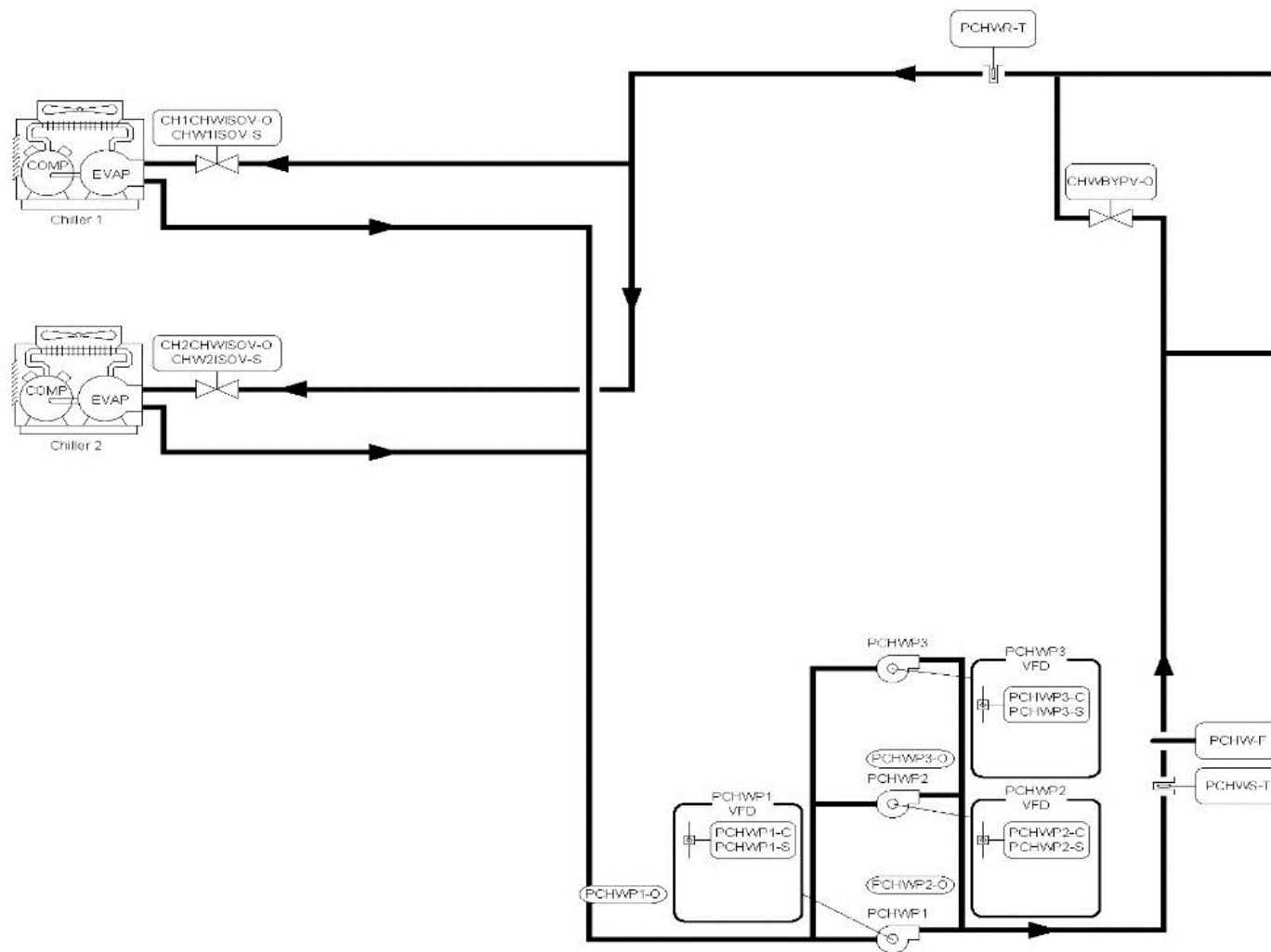


Figura 2.2: Esquemático Planta de Agua

Los chillers son los encargados de enfriar el agua, estos disponen de una válvula de aislamiento, la cual evita que exista flujo de agua por el chiller que no se encuentre en funcionamiento, previo a la operación de un chiller es necesario que su válvula de aislamiento correspondiente sea abierta.

La tubería de bypass junto con la válvula conectada entre la tubería de suministro de agua y de retorno que se encarga de mantener un flujo mínimo por el chiller, este dato es proporcionado por el fabricante del chiller y es un valor mínimo que garantiza el funcionamiento correcto del chiller, por debajo de este valor, el chiller se auto protegerá por bajo flujo de agua. La variable que comanda el funcionamiento de la válvula de bypass esta dictada por la lectura del sensor de flujo de agua que se encuentra ubicada aguas arriba de la tubería de suministro.

El sensor de diferencia de presión (CHW-DP) ubicado en el punto más lejano en la planta de agua entre la tubería de suministro y retorno se encargara de modular la velocidad de las bombas para mantener un set point de diferencia de presión entre las tuberías. Cuando el valor de presión es muy alto las bombas reducirán su velocidad para mandar menos flujo de agua y aliviar la presión en las tuberías. Cuando el valor de la presión es muy bajo las bombas aumentara la velocidad para aumentar el flujo de agua y tratar de alcanzar el punto de set point de la presión.

La presión de la tubería aumentara cuando el edificio requiera de poca carga térmica, es decir que la mayoría de las zonas del edificio están en una temperatura ideal.

La presión de la tubería disminuirá cuando el edificio requiera de una mayor carga térmica, es decir que la mayoría de las zonas del edificio necesitan ser enfriadas.

Los sensores de temperatura se encuentran ubicados, uno en la tubería de suministro y el otro en la tubería de retorno; estos valores

son usados para calcular la carga térmica actual del edificio, mediante la relación matemática descrita en la ecuación (2.1).

$$kW = \Delta T \times Q \quad (2.1)$$

Donde

$kW =$  Carga energetica en kilovatios

$\Delta T =$  Diferencia de temperatura entre el retorno y suministro en °C

$Q =$  Flujo de agua en litros/segundos

### 2.1.1 Lista de variables planta de agua helada

La tabla 1 muestra la lista de todas y cada una de las variables de entrada así como también las variables de salida que se utilizaron para el control de la planta de agua helada, en ella se pueden observar los nombres y sus abreviaturas.

Variables	Español
<b>ENTRADAS</b>	
CH1-A	Alarma de chiller 1
CH1-S	Estado de chiller 1
CH2-A	Alarma de chiller 2
CH2-S	Estado de chiller 2
CHW-DP	Diferencia de presión de agua helada
CHW1ISOV-S	Estado válvula de aislamiento 1
CHW2ISOV-S	Estado válvula de aislamiento 2
PCHW-F	Flujo de agua helada primario
PCHWP1-S	Estado bomba primaria 1
PCHWP2-S	Estado bomba primaria 2
PCHWP3-S	Estado bomba primaria 3
PCHWR-T	Temperatura de retorno de agua helada
PCHWR-S	Temperatura de suministro de agua helada
<b>SALIDAS</b>	
CH1-EN	Habilitación Chiller 1
CH2-EN	Habilitación Chiller 2
CH1CHWISOV-O	Válvula de aislamiento de chiller 1

CH2CHWISOV-O	Válvula de aislamiento de chiller 2
CHWBYPV-O	Válvula de bypass de agua helada
PCHWP1-C	Comando bomba primaria 1
PCHWP1-O	Velocidad bomba primaria 1
PCHWP2-C	Comando bomba primaria 2
PCHWP2-O	Velocidad bomba primaria 2
PCHWP3-C	Comando bomba primaria 3
PCHWP3-O	Velocidad bomba primaria 3

**Tabla 1: Variables planta de agua helada.**

## **2.2 Unidad Manejadora de Aire (UMA)**

La manejadora de aire es la encargada de enfriar los pasillos del edificio, está compuesto por un ventilador, un serpentín con su válvula de dos vías, y un pre filtro. Los sensores que se usan para este equipo son, tres sensores de temperatura; uno para la descarga de aire, otro para el retorno y uno para la zona, un sensor detector de humo en el retorno y un switch de presión para monitorear el estado del filtro. Estos se elementos se muestran en la figura 2.3 y sus nombres en la tabla 2.

El ventilador será el encargado de enviar aire al pasillo en volumen constante, para obtener aire frío es necesario que la válvula de dos vías este abierta para que exista un flujo de agua en el serpentín, de este modo por medio de transferencia de calor se enfría el aire cuando este pase a través del serpentín.

El sensor detector de humo es un elemento de seguridad que apagara el equipo cuando exista presencia de humo en el ducto de retorno de aire, envía dos señales de control; una para desenergizar el contactor del arrancador del motor por medio de un contacto cerrado y otra señal por medio un contacto normalmente abierto para detener la secuencia de control y presentar una alarma en la interfaz gráfica.

El switch de presión es el encargado de monitorear el estado del filtro, consta de dos tubos de prueba ubicados previo y después del filtro para las lecturas de baja y alta presión, respectivamente. Cuando el

filtro se encuentra sucio, el lado de baja presión aumentara; cuando este supere el lado de alta presión cierra un contacto que nos servirá como una alarma de que el filtro se encuentra sucio.

Los sensores de temperatura nos mostraran los valores de temperatura en tres partes diferentes del ducto de aire. La temperatura de descarga de aire y retorno de aire son para monitoreo, mientras que la temperatura de zona se usara para el control del equipo; este es un dispositivo electrónico que transmite la información por medio de un cable de comunicación hacia el controlador.

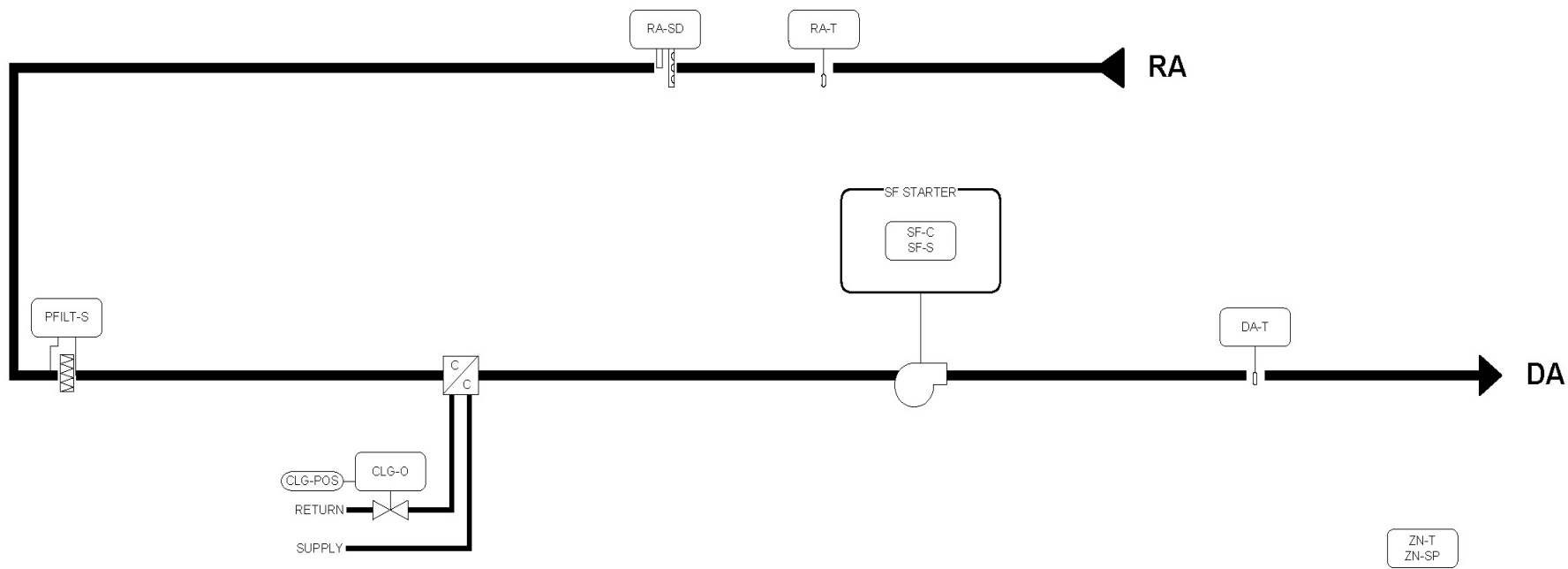


Figura 2.3: Esquemático Manejadora de Aire.



UMA	
ENTRADAS	
CLG-POS	Posición de la válvula
PFILT-S	Estado de pre filtro
RA-SD	Detector de humo en aire de retorno
SF-S	Estado ventilador de suministro
ZN-SP	Setpoint de temperatura de zona
ZN-T	Temperatura de zona
SALIDAS	
CLG-O	Apertura de la válvula
OCC-MODE	Modo de ocupación
SF-C	Comando de ventilador de suministro

**Tabla 2: Variables Unidad Manejadora de Aire**

### 2.3 Fancoils

Los fancoils son los encargados de enfriar los cuartos del edificio, están compuestos por un ventilador, un serpentín con su válvula de dos vías, y un filtro. Los sensores que se usan para este equipo son, dos sensores; un switch de presión y un switch de corriente. Estos se elementos se muestran en la figura 2.4 y sus nombres en la tabla 3.

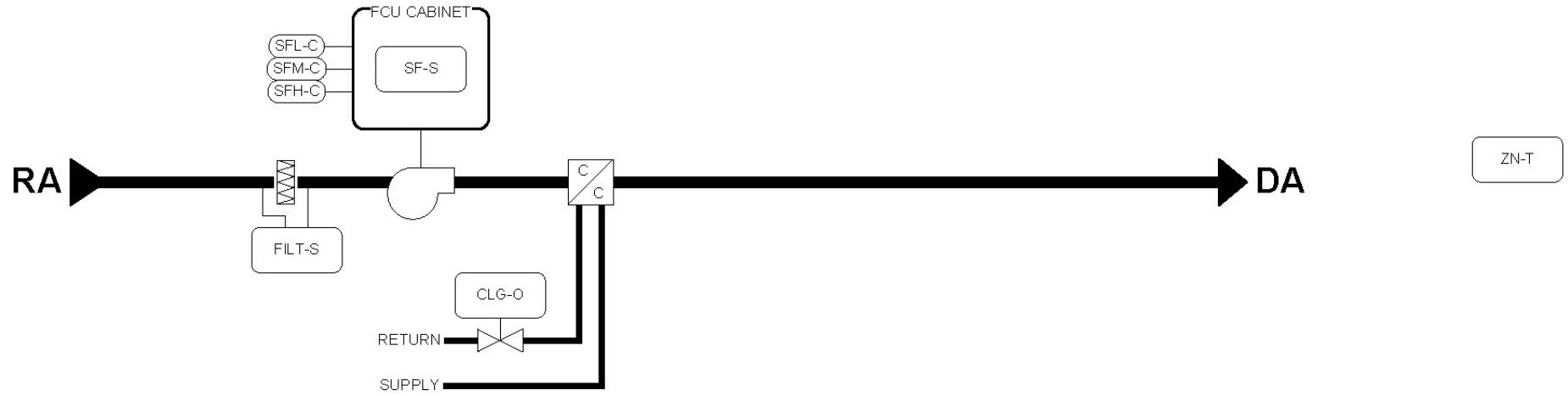
El equipo será controlado por un termostato pre programado que se encargara de las funcione de control. El termostato consta de un detector de presencia que ayudara a encender el equipo cuando exista movimiento en el cuarto.

El ventilador consta de tres velocidades que ayudara al control de temperatura del cuarto.

El switch de presión se encarga de supervisar el estado del filtro, consta de dos tubos de prueba ubicados antes y después del filtro para las lecturas de presión baja y alta respectivamente.

Cuando el filtro se encuentra sucio, el lado de baja presión aumentara; cuando este supere el lado de alta presión cierra un contacto que nos servirá como una alarma de que el filtro se encuentra sucio.

El switch de corriente se encarga de ver el estado del ventilador, este sensa la corriente por Efecto Hall y manda a cerrar un contacto.



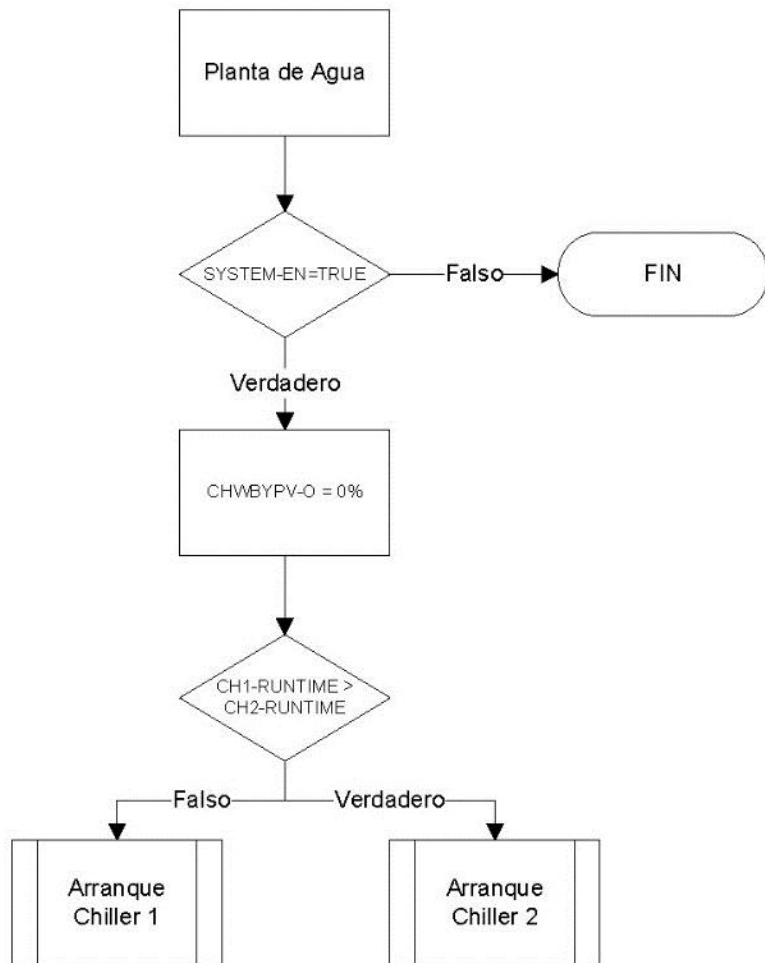
**Figura 2.4: Esquemático Fancoils**

FANCOILS	
ENTRADAS	
ZN-T	Temperatura de zona
SF-S	Estado ventilador de suministro
FILT-S	Estado del filtro
SALIDAS	
SFL-C	Comando velocidad baja
SFM-C	Comando velocidad media
SFH-C	Comando velocidad alta
CLG-O	Salida válvula

**Tabla 3: Variables Fancoils**

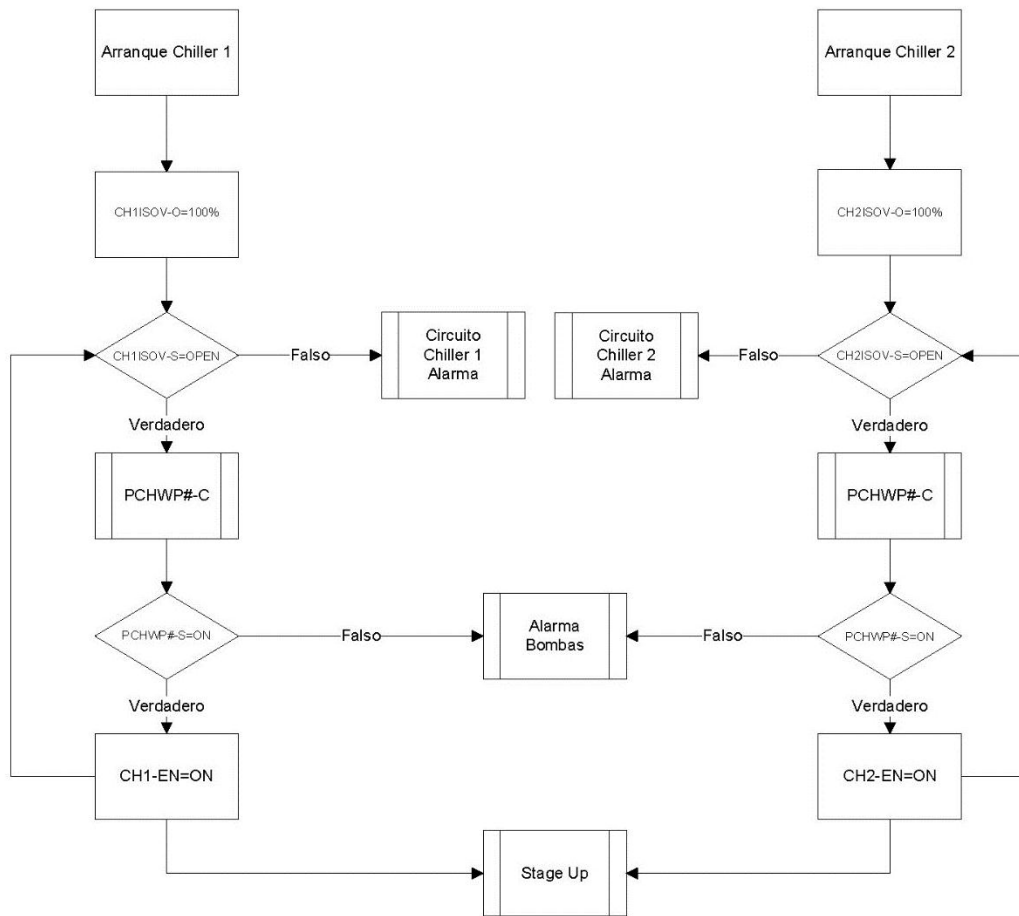
#### **2.4 Diagrama de Flujo del arranque de la Planta de Agua**

En la figura 2.5 se muestra el diagrama de flujo de arranque de la planta. Para el arranque inicial de la planta de agua se necesita dar la orden de inicio por medio de la interfaz de usuario, por lo cual se necesita modificar el valor de la variable habilitadora del sistema (SYSTEM-EN). Cuando ésta es verdadero (true) el control da inicio al arranque. La secuencia de ejecución o de activación es: inicialmente comanda la válvula de bypass a que cierre y luego compara las horas de trabajo de ambos chillers para poner a funcionar el de menor horas de trabajo.



**Figura 2.5: Diagrama Arranque Inicial.**

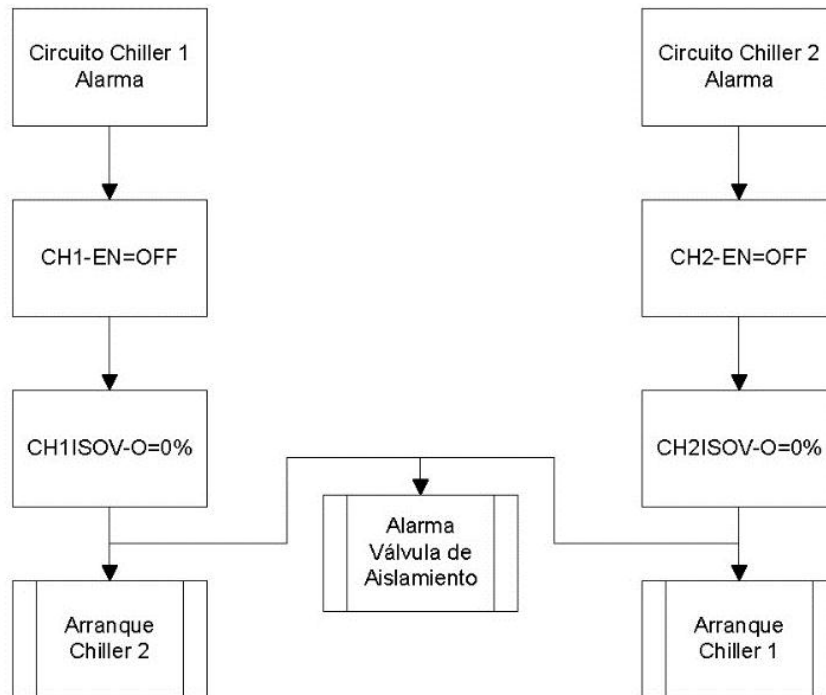
En la figura 2.6 se observa el diagrama de flujo de arranque de chillers, una vez seleccionado el chiller a operar se procede a abrir la válvula de aislamiento, con la confirmación de apertura de la válvula se procede a arrancar la bomba y finalmente el chiller correspondiente.



**Figura 2.6: Diagrama Arranque Chillers.**

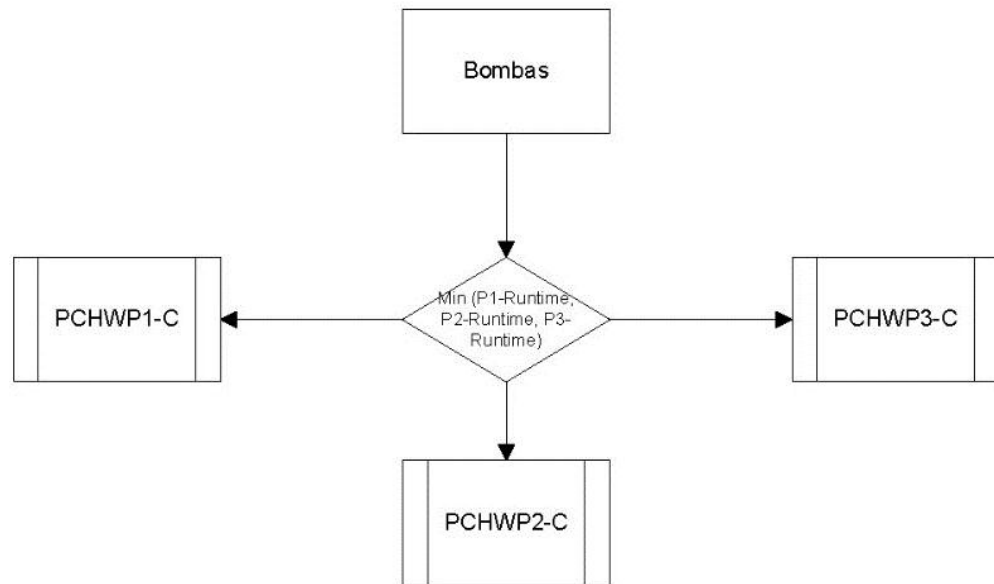
Durante el proceso de arranque de los chillers si alguno de los equipos como las válvulas de aislamiento o las bombas presenta problemas, se generan alarmas.

En la figura 2.7 se muestra el diagrama de flujo de alarmas causada por falla de operación en las válvulas de aislamiento, en caso de alarma se intentara rotar hacia el otro chiller. Si el chiller que no se encuentra operativo presenta problemas con la válvula también, se genera una alarma y el proceso procede a terminar en espera de un reset de alarmas.



**Figura 2.7: Diagrama Alarma por válvula de aislamiento.**

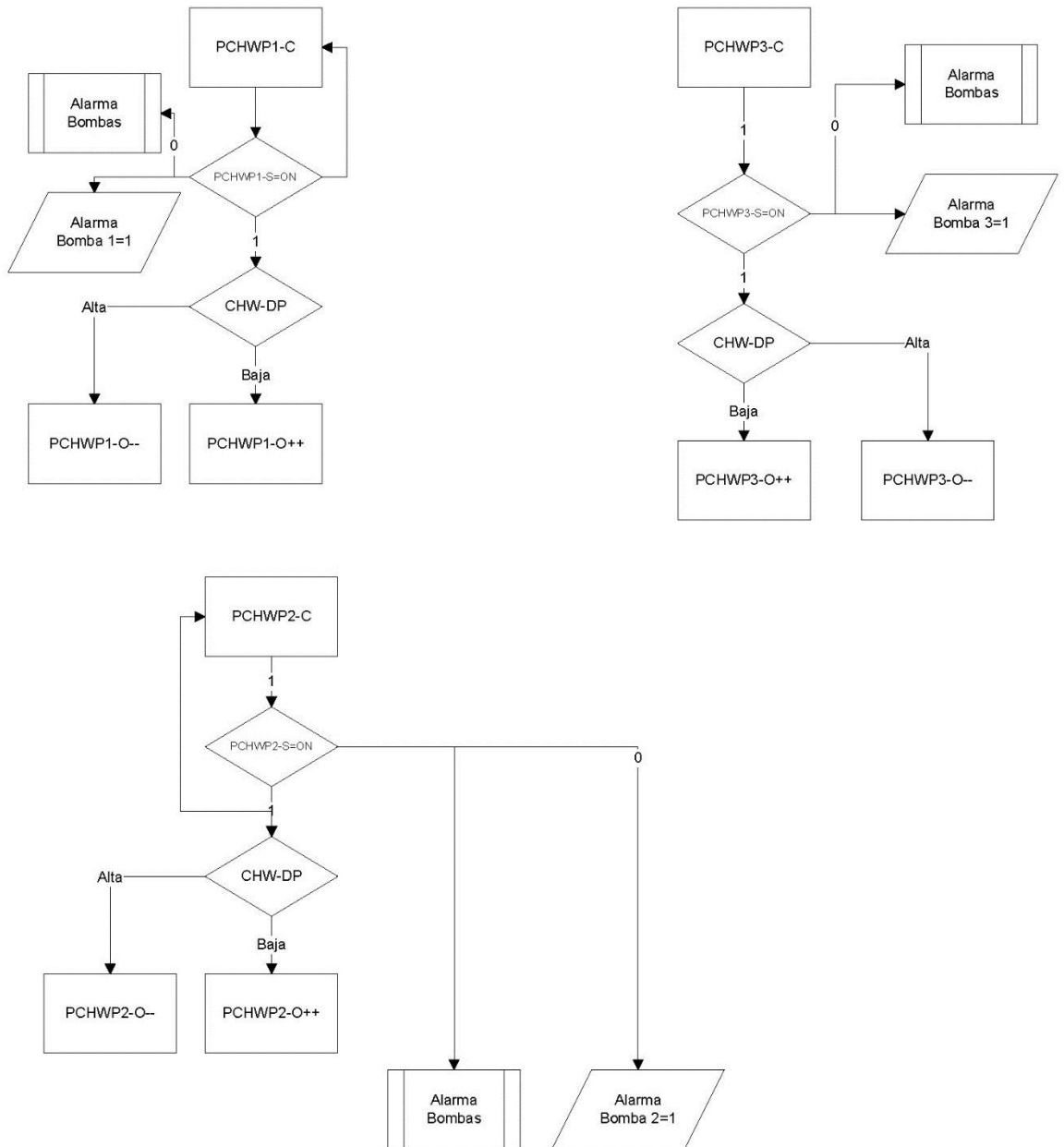
El diagrama de flujo que se muestra en la figura 2.8 ilustra el proceso de selección de bombas. Las bombas se seleccionara la que tenga menor horas de trabajo, si una de estas presenta problemas al arrancar se generara una alarma para esa bomba y se procederá a rotar hacia las otras bombas que se encuentren en estado operativo. Cuando todas las bombas se encuentran en alarmas se genera una alarma general del sistema con lo que procede a darle fin al proceso esperando un reset de esta alarma.



**Figura 2.8: Diagrama selección de bombas.**

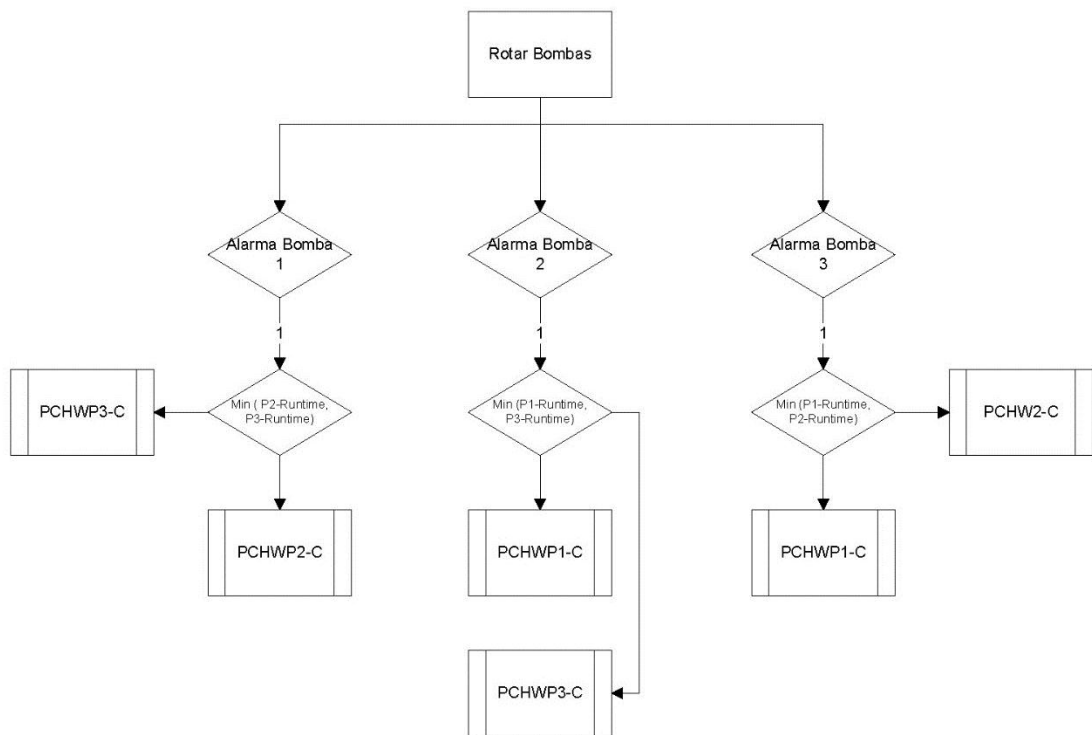
En la figura 2.9 se puede observar el diagrama de flujo para el control de velocidad de las tres bombas del sistema de agua, este proceso está directamente en relación con la lectura de presión del sistema.





**Figura 2.9: Diagrama Control de velocidad de bombas.**

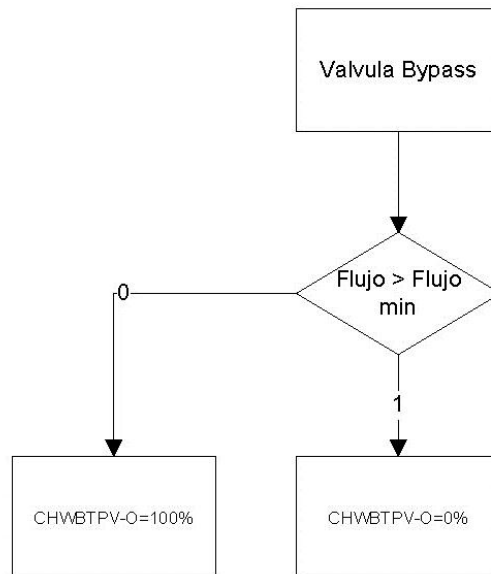
La figura 2.10 ilustra la lógica de programación para la rotación de bombas, en esta se toma en cuenta las horas de trabajo de las bombas y si la bomba se encuentra o no en estado de alarma.



**Figura 2.10: Diagrama Rotación de Bombas.**

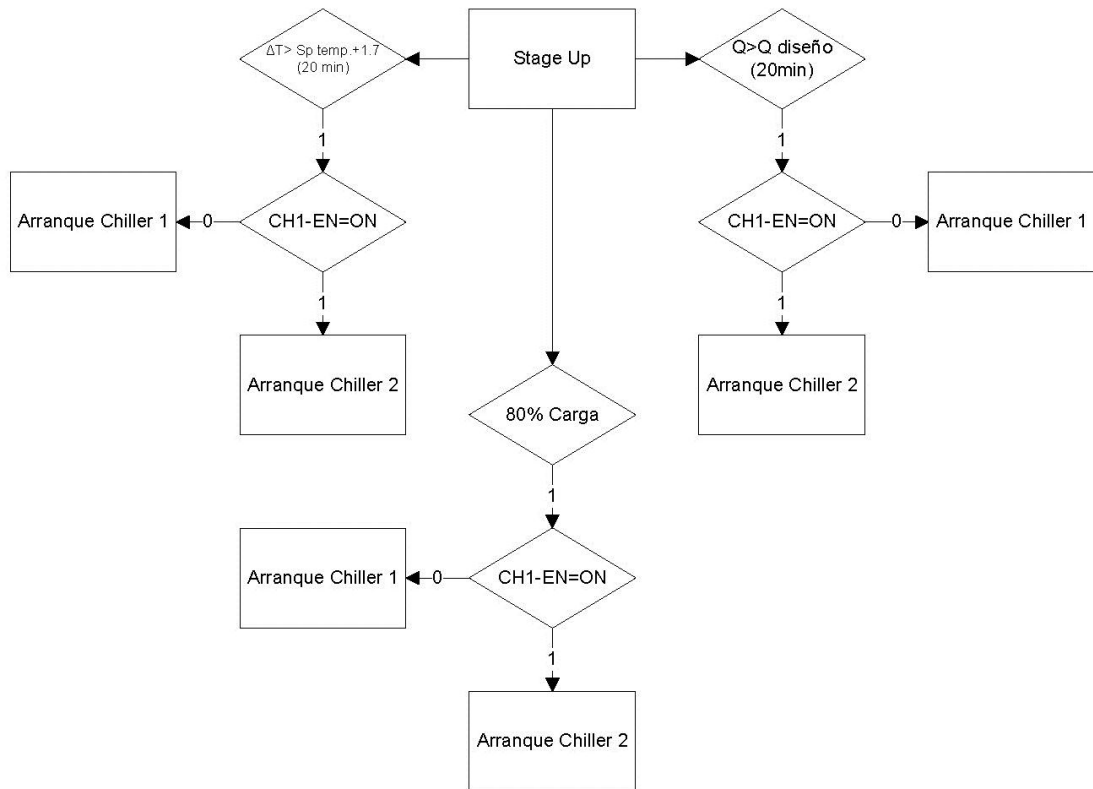
La válvula de bypass actuara en relación al sensor de flujo, cuando el flujo se encuentra por debajo del flujo mínimo del chiller, esta abrirá para permitir un mayor flujo de agua hacia estos. Cuando el flujo es mayor que el flujo mínimo la válvula permanecerá cerrada.

En la figura 2.11 se muestra la lógica de programación para la válvula de bypass.



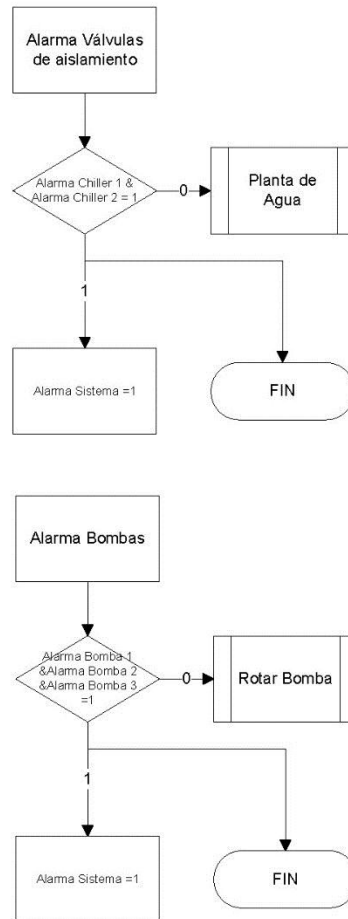
**Figura 2.11: Diagrama funcionamiento válvula de bypass.**

El diagrama de flujo en la figura 2.12 nos muestra las condiciones a evaluar para el ingreso de chillers adicionales. Se evalúan tres condiciones, estas son: el porcentaje de carga del chiller, el mismo que puede ser cambiado desde la interface. Si la diferencia de temperatura de retorno y suministro es mayor al setpoint fijado y si el flujo de agua es mayor que el flujo de diseño por un periodo de tiempo de veinte minutos.



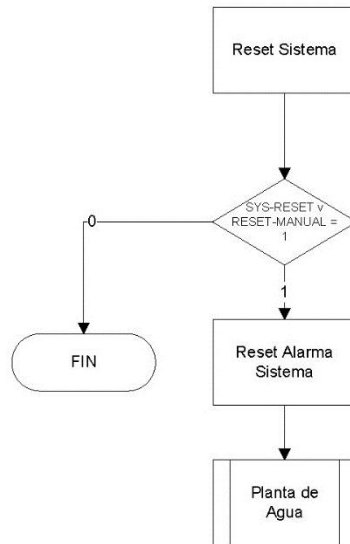
**Figura 2.12: Diagrama para el ingreso de chillers adicional.**

La figura 2.13 muestra el diagrama de flujo de generación de alarmas en la planta de agua, las alarmas son causadas por errores que se presentan al arrancar las bombas o errores en la apertura de las válvulas. Cuando todas las bombas se encuentran en estado de alarma, o todas las válvulas se encuentran en estado de alarma, se produce una alarma general del sistema que termina el proceso para proteger los equipos.



**Figura 2.13: Diagrama generación de alarma de sistemas.**

Cuando se produce una alarma de sistema ya sea causada por las válvulas de aislamiento o las bombas, es necesario realizar un reset al sistema. Esto es para obligar al operador revise estos equipos que son de gran importancia para la planta de agua. La figura 2.14 muestra la lógica de programación para realizar el reset del sistema. El reset puede realizarse mediante una botonera ubicado en el tablero de la planta de agua o a través de una variable de red mediante un computador, basta con enviar un pulso para que el sistema se resetee e intente arrancar desde el inicio.



**Figura 2.14: Diagrama Reset de alarmas.**

## 2.5 Diagrama de Flujo unidad manejadora de aire

En la figura 2.15 se muestra la lógica de programación de arranque de la unidad manejadora de aire (UMA). Para el arranque de la manejadora de aire se evalúa el valor de variable (OCC-SCHEDULE), cuando esta se encuentra en el valor ocupado (OCUPIED) el control da arranque al ventilador y evalúa las condiciones de temperatura. Si la temperatura de zona es más alta que el setpoint se procede a abrir la válvula según lo que se requiera, cuando el valor de temperatura es más bajo del setpoint la válvula se cerrara de una manera proporcional para obtener el valor de temperatura deseado.

En presencia de humo el sensor se encargara de mandar una orden de apagado al controlador y desconectara la bobina del contactor del motor.

En el estado UNOCUPIED el ventilador y la válvula permanecerán apagado y cerrado respectivamente.

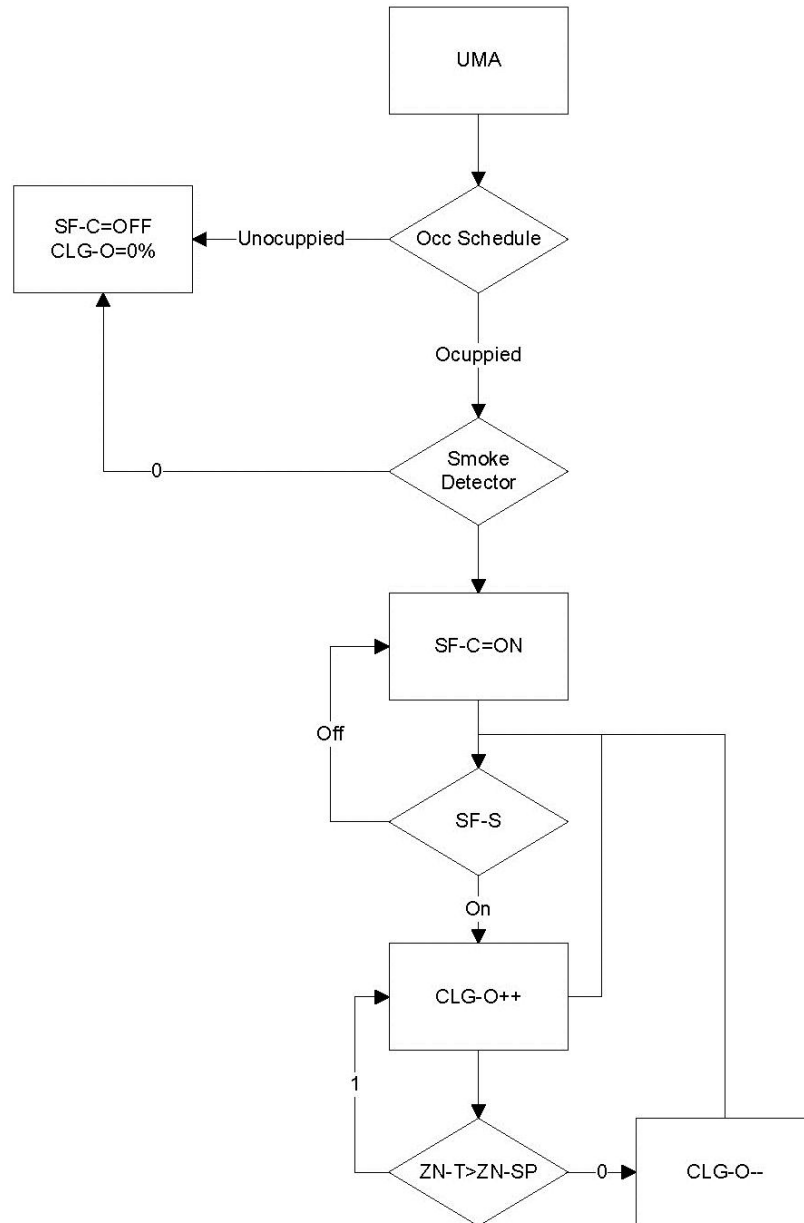


Figura 2.15: Diagrama de flujo de unidad manejadora.

## 2.6 Arquitectura de control

La Figura 2.16, muestra la arquitectura de control propuesta para el control y monitoreo de la planta de agua (sistema de climatización mediante un sistema de agua helada enfriado por aire). Dentro de la arquitectura de control se encuentra todos los equipos conectados a la red de comunicación, mediante un bus de datos que permite intercambiar información entre todos los equipos de campo y a su vez se puede recopilar y centralizar para poder visualizar desde un solo punto.

El medio físico para la comunicación es mediante un cable de comunicación apantallado en conexión RS 485 de tres hilos. Se comunican mediante el protocolo BacNet MSTP, el cual es un protocolo bastante común entre los dispositivos domóticos.

Todos los equipos conectados a la red de comunicación se les asignan una dirección para identificarlos, la dirección puede ir desde el número 4 hasta el número 127, la direcciones 1, 2 y 3 se encuentran reservadas y por eso no pueden ser usadas.

El equipo supervisor se encargara de centralizar toda la información de los equipos de campo. En este se encuentran los gráficos de la interfaz de usuario, contiene los horarios para encendido de los equipos, alarmas creadas que se presentan de forma visual y sonora; y un estudio de tendencia de temperatura en las diferentes zonas. Este se encarga de cambiar la comunicación de BacNet MSTP a TCP/IP para poder acceder desde cualquiera computadora que se encuentre en la red del edificio.

Para el acceso se requiere de una cuenta de usuario y asignarle una dirección IP al equipo supervisor.

Los equipos a usar son los siguientes:



Un equipo de automatización (NAE) para la red, el cual permite el monitoreo y control efectivo de equipamientos, programas, gestión de energía, gestión de eventos y alarmas, cálculos de tendencias y base de datos.

Además están provistos de una interfaz de usuario que permite múltiples sesiones simultáneas vía web para acceder al control mediante permisos y contraseñas.

Termostatos pre programables (TEC) para control de fan coils se encargan de brindar el control del ambiente de manera eficiente el cual viene integrado con tecnología de sensor de ocupación garantizando una temperatura de confort óptima para cada ambiente.

Los controladores de equipos de campo (FAC) permiten recopilar datos y controlar los subsistemas de un inmueble de forma remota, por lo que juegan un rol fundamental en la gestión de la eficiencia energética del edificio.

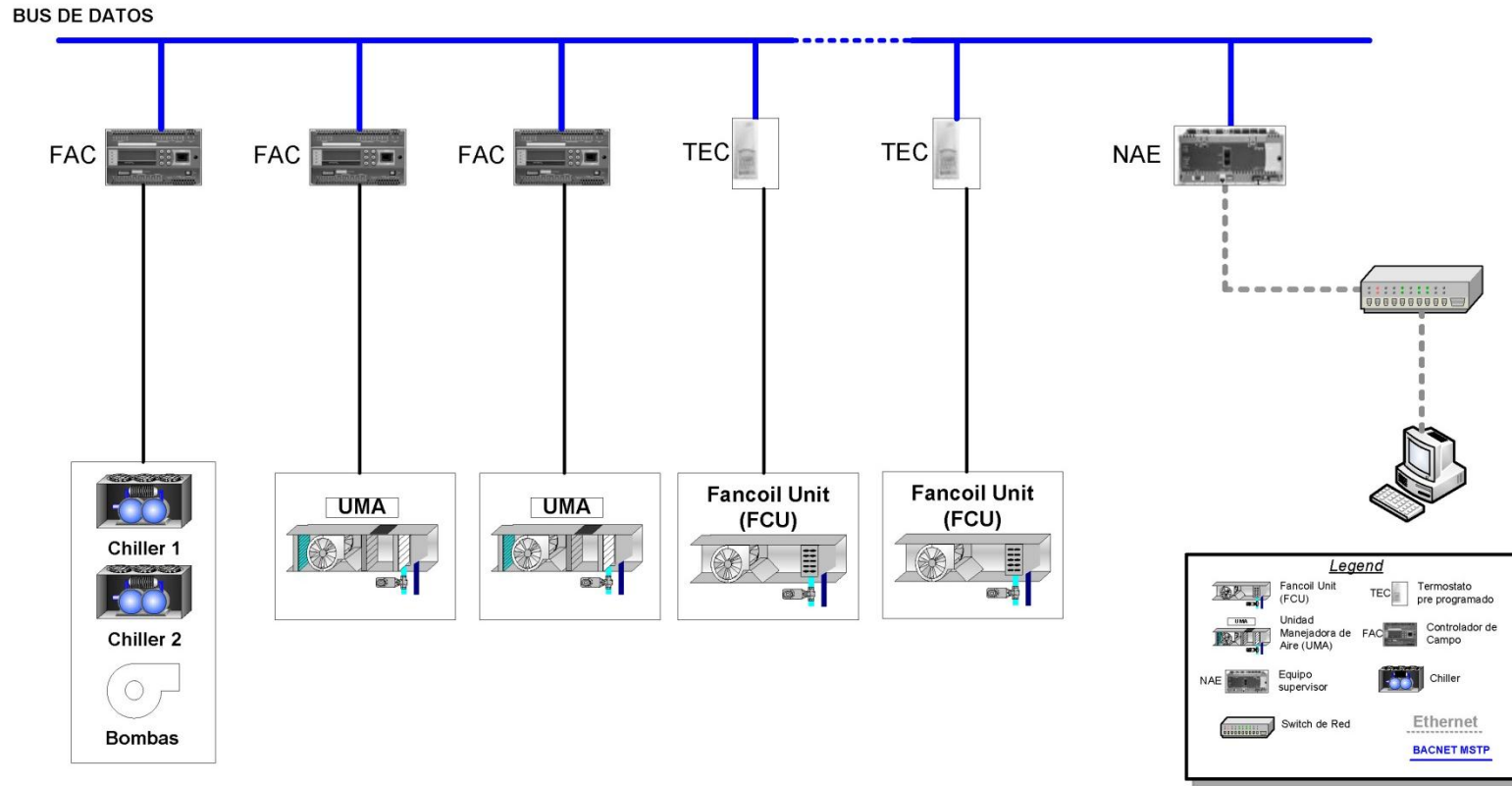
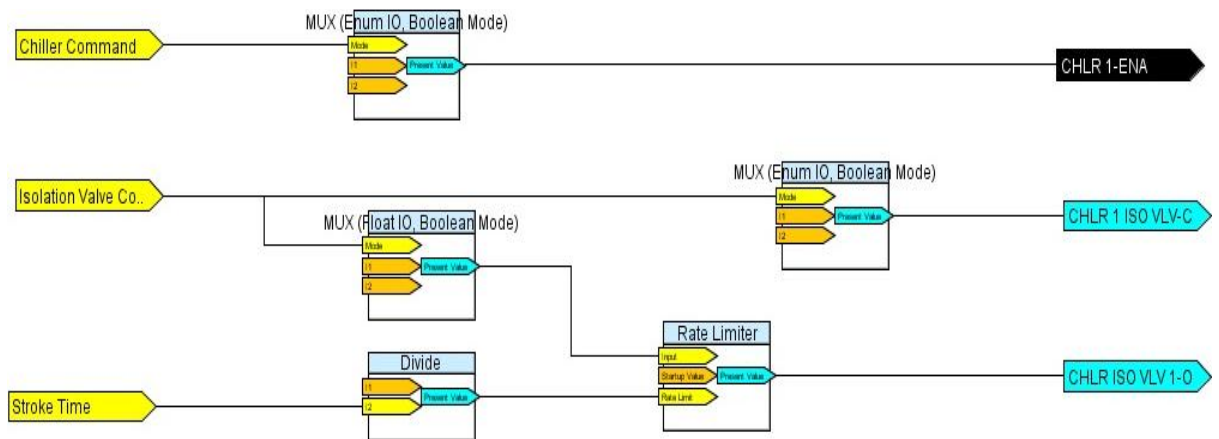


Figura 2.16: Arquitectura de control.

## 2.7 Diseño del programa para el PLC

Para la programación del PLC, se utilizara el software Controller Configuration Tool (CCT) de Jhonson Controls, este software permite la programación por bloques lógicos predefinidos y luego realizar la interconexión de los mismos, pudiéndose crear bloques personalizados que puedan ser usados en otros trabajos.

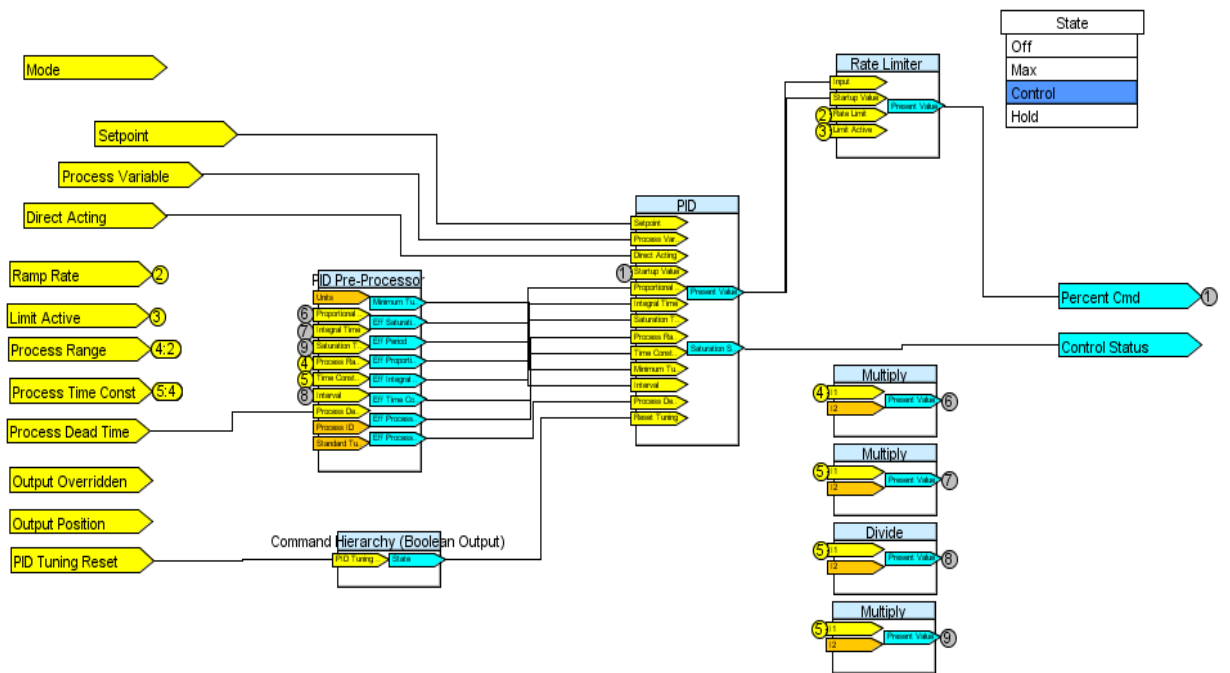
La figura 2.17 muestra el bloque de programación usado para habilitación de los chillers, este bloque tiene tres entradas, que son: comando de chiller, comando de válvula de aislamiento y tiempo de apertura de la válvula. Se encuentra compuesto por bloques multiplexores (MUX de 2 a 1) que se encargan de seleccionar entre dos valores según la entrada selectora, y un bloque limitador de cambios (RATE LIMITER) que regula la tasa de apertura de la válvula de aislamiento, no permite que se haga cambios bruscos de esta. Las salidas de este bloque determinan el porcentaje de apertura de la válvula de aislamiento y una habilitación para bloques siguientes.



**Figura 2.17: Bloque de control habilitación chillers.**

El bloque PID mostrado en la figura 2.18 es usado para ajustar la velocidad de las bombas, la variable del proceso es la diferencia de presión que existe entre las tuberías de mando de agua y de retorno.

Este bloque se encargara de modificar la velocidad de las bombas para mantener un setpoint de diferencia de presion. El bloque de control esta compuesto por un bloque pre procesador que es el encargado de calcular las variables proporcional, integral y derivativas necesarias para el control, se encuentra conectado directamente al bloque PID. El bloque limitador de cambios conectado previo a la salida nos permite fijar el numero de cambios que se quiera en un intervalo de tiempo, esto es para evitar cambios bruscos de velocidad.



**Figura 2.18: Bloque de control velocidad bombas.**

Para la válvula de bypass se usa un bloque parecido al mostrado a la figura 2.18, cambian la variable de proceso, setpoint y la salida del bloque PID.

La figura 2.19 se puede observar el bloque PID para las unidades manejadoras de aire, la entrada de proceso en este bloque es la temperatura de zona, la salida a cambiar es el porcentaje de apertura de la válvula de dos vías, de este modo se regula el flujo de agua hacia el equipo y se realiza el control de temperatura. El bloque consiste en una etapa pre procesadora donde se calcula los parametros PID y se conecta directamente al bloque PID, es necesario especificar la relacion que existe entre la entrada y salida, esta puede ser directa o inversa. El bloque compensador (LEAD COMPENSATOR) es usado para predicciones futuras y mejorar la respuesta del controlador, se integra en controles de temperatura de zona en donde se pueden haber usado válvulas de mayor capacidad o no lineales.

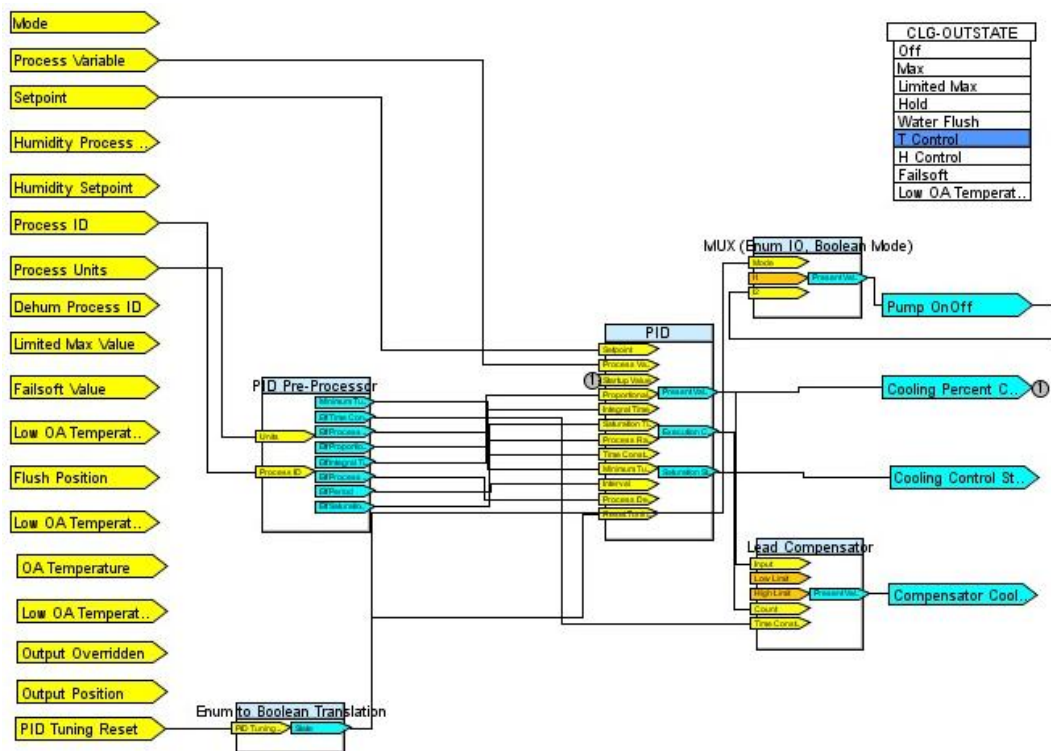


Figura 2.19: Bloque de control de temperatura.

## CAPÍTULO 3

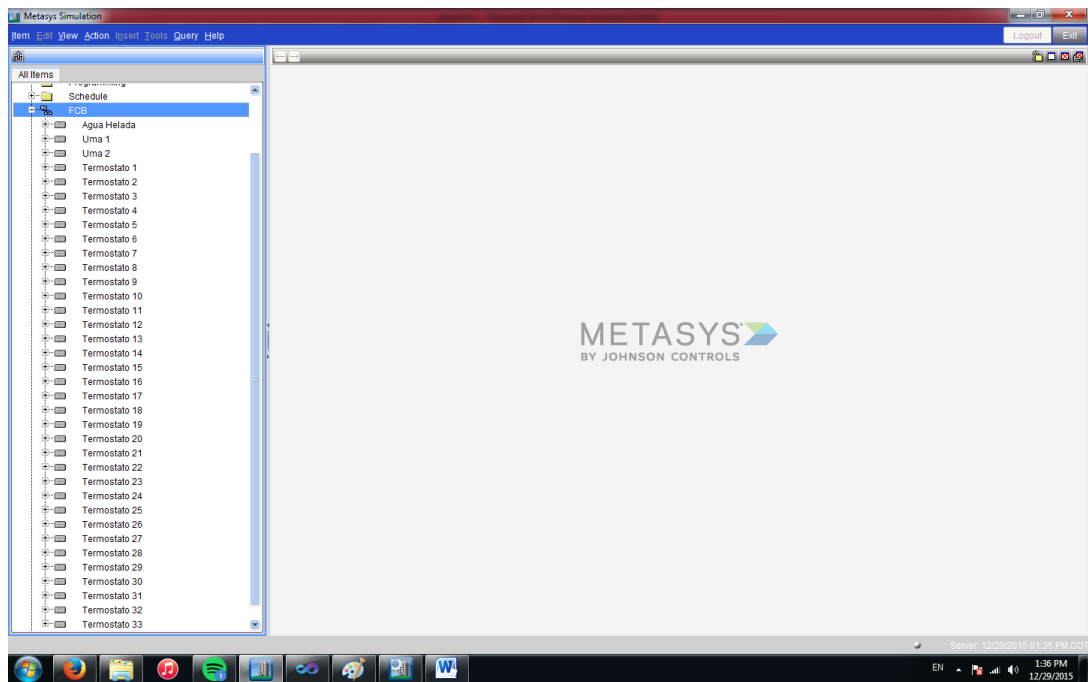
### 3. EVALUACIÓN DE PROGRAMAS DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN E INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO.

#### 3.1 Interfaz gráfica de usuario

Para la interfaz gráfica de usuario se ha usado la herramienta Metasys, de la marca Johnson Controls. Esta nos permite visualizar la información recopilada a través del equipo supervisor de todos los dispositivos de campo que se encuentren incorporado a la red BacNet MSTP.

El equipo supervisor nos permite centralizar toda la información en un solo punto, es capaz de comunicar esta mediante la red TCP/IP, de este modo asignándole una dirección IP a este equipo, dentro de una red se podría acceder a toda la información del edificio desde cualquier computador que se encuentre conectado a la red.

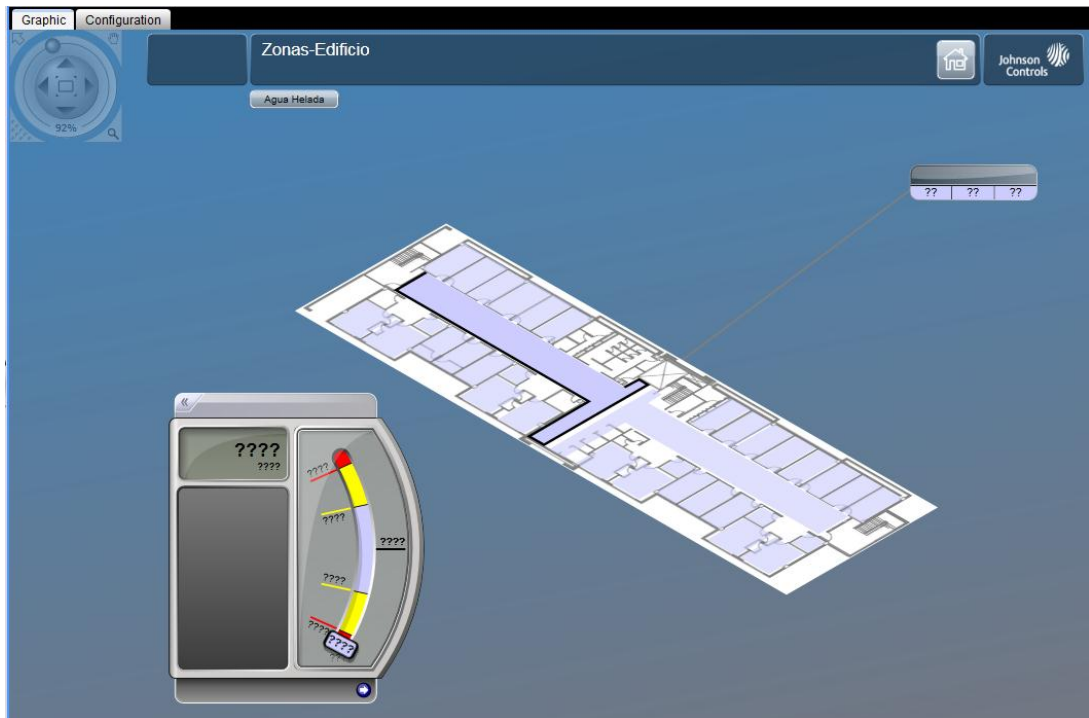
En la figura 3.1 se observa la lista de equipos que se encuentran conectados al bus de datos, cada equipo está compuesto por sus variables que son las que se van a monitorear.



**Figura 3.1: Interfaz Gráfica.**

Dentro de esto se encuentra contenidos los gráficos, que nos permitirán visualizar cada zona del edificio en donde se encuentra algún equipo. Se podrá acceder de manera rápida a los datos más importantes de cada cuarto y de manera visual observar si existe algún problema de temperatura en los cuartos, estos tienen color representativo de su estado. Siendo el color azul estado normal, el amarillo una advertencia de algún problema de temperatura y el rojo un estado de alarma de temperatura.

La figura 3.2 se observa el plano del edificio en donde se encuentran delimitadas todas las zonas que se climatizan.

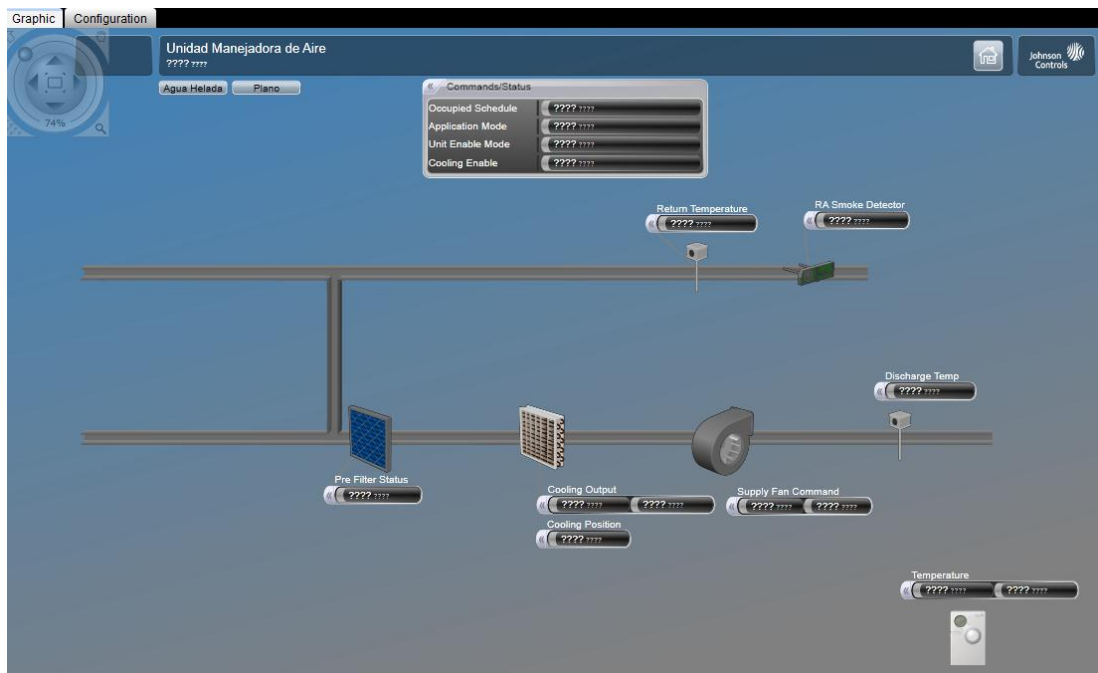


**Figura 3.2: Grafico plano del edificio.**

Cada zona azul representa uno de los equipos que se ha usado, dentro de estos se puede encontrar información más detallada propia del cuarto, junto con animaciones que van acorde a lo que se encuentra funcionando en ese momento.

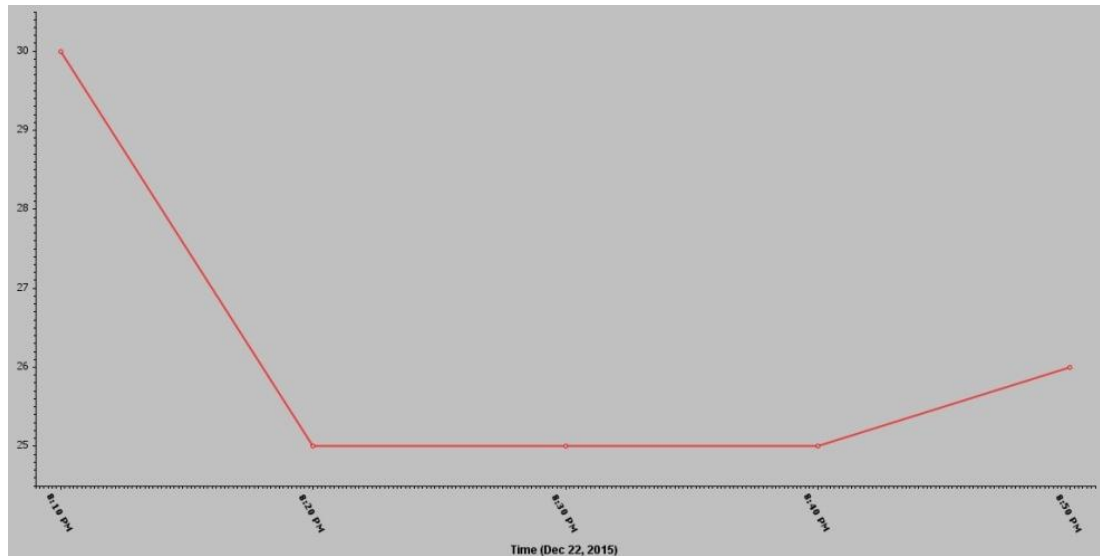
La figura 3.3 nos muestra el detalle de uno de los equipos de climatización, en donde se pueden ver todas las variables importantes.





**Figura 3.3: Grafico de equipo de aire.**

En la figura 3.4 se observa la recopilación de datos de temperatura de los cuartos y se los muestra en un gráfico. Cada valor de temperatura tiene creado un estudio de tendencias, esto es recopilar información de los datos que se presenta durante su funcionamiento y presentarlos de manera gráfica. Para efectos prácticos se lo ha configurado para que almacene datos de hasta una semana, la toma de datos la realiza cada diez minutos. Esto puede ser configurado para que almacene esta información en una base de datos y de esta manera se pueda obtener acceso a datos más antiguos. Estos datos pueden ser usados para estimar problemas en los equipos ya que se tiene acceso a las lecturas de temperatura que han ocurrido a lo largo de su funcionamiento.



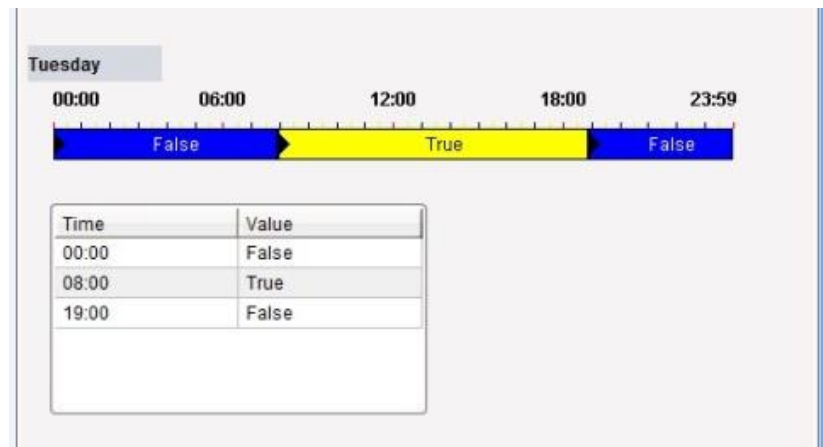
**Figura 3.4: Tendencia de temperatura de uno de los termostatos.**

Los equipos funcionaran de acuerdo a un horario asignado, completamente manipulable para ajustarse a lo necesitado. Dentro de estos se pueden crear fechas de excepción en donde se requiera que el sistema trabaje de manera diferente ya sea un mayor tiempo de funcionamiento o que se encuentre completamente apagado.

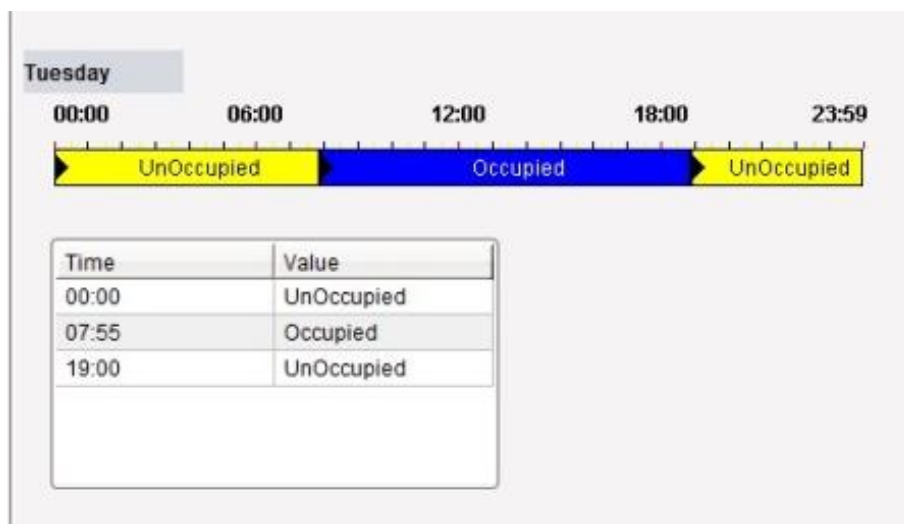
Para los cuartos se han usado termostatos pre programados, estos cuentan con un sensor de presencia. Por medio de este se enciende o se apagan de acuerdo a lo que se necesite.

En la figura 3.5 se muestra el horario creado para la planta de agua helada, el horario puede ser cambiado para ajustarse a las necesidades del edificio.

La figura 3.6 muestra el horario para las unidades manejadoras de aire.



**Figura 3.5: Horario de encendido planta de agua helada.**

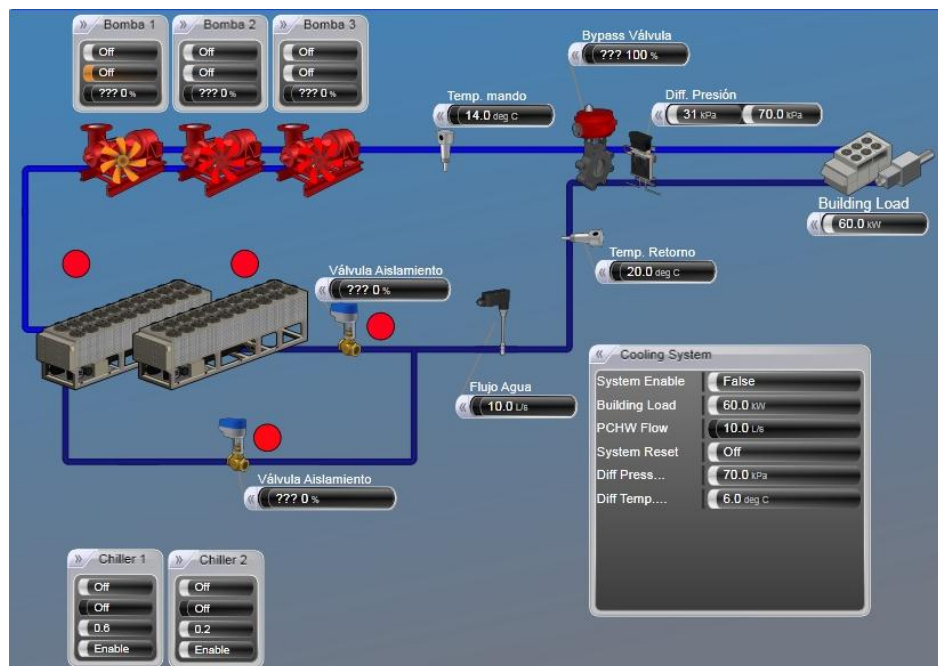


**Figura 3.6: Horario de encendido manejadoras de aire.**

Todas las variables de temperatura presentan un reporte de alarma que se ha creado, en estos se definen los valores límites para advertencias y reporte de alarmas, así mismo se puede agregar un tiempo de demora antes de presentar el reporte.

### 3.2 Sistema de agua helada

La planta de agua helada será habilitada y deshabilitada manualmente por un comando de operador. Cuando la planta de agua helada se encuentra deshabilitada todos los dispositivos serán comandados a apagarse, las válvulas de aislamiento cerradas y la válvula de bypass de agua helada permanecerá abierta. Figura 3.7



**Figura 3.7: Parámetros iniciales sistema de agua helada.**

El programa está diseñado para maximizar la eficiencia de operación de la planta de agua helada. Cuando el sistema está habilitado mantiene al menos 1 dispositivo encendido, determina el porcentaje de carga del sistema y maximiza la eficiencia de la planta escogiendo el equipo más eficiente de los equipos disponibles. La eficiencia es calculada basada en los datos individuales del equipo como el coeficiente de desempeño (COP), el porcentaje de carga, capacidad requerida y el flujo de diseño del sistema mecánico. La figura 3.8 muestra el ingreso de estos parámetros.

La carga térmica del edificio es calculada usando los datos de la diferencia de temperatura de agua helada multiplicada por el flujo primario de agua helada. El porcentaje de carga representa la carga térmica actual del edificio referido a la carga total de la planta de agua helada.

Type	Rated Capacity	Rated Current/Power	Rated CW Flow	CW Min Flow	Rated CHW Flow	CHW Min Flow	CHW Max Flow	Peak COP
▼	655.0	193.0	0.0	0.0	28.0	13.17	28.0	7.0
▼	655.0	193.0	0.0	0.0	28.0	13.17	28.0	7.0

**Figura 3.8: Parámetros de eficiencia del sistema de agua helada.**

Cada chiller tendrá equipado una válvula de aislamiento proporcional con estado de confirmación de apertura. El orden de operación de los chillers será determinado por combinación de horas de trabajo y arranques/paradas de estos. Si uno de los equipos presenta falla o se encuentra en mantenimiento, será apagado de manera ordenada y el siguiente equipo disponible en la secuencia del programa será arrancado.

El programa escogerá la bomba o combinación de bombas más eficientes de las que se encuentran disponibles. En general cuando está habilitado el control determina la mejor combinación que cumpla los requerimientos y enciende o apaga de manera ordenada las bombas para lograr lo deseado. La eficiencia es calculada basada en la eficiencia del equipo, el porcentaje de carga, la capacidad requerida y el flujo de diseño, Figura 3.9.

El flujo requerido se logra variando la velocidad de las bombas, ya que este es directamente proporcional a su velocidad, todas las bombas encendidas actuarán a la misma velocidad. El flujo que requiere el sistema de agua es usado para comparar todas las combinaciones disponibles, el control luego determinará la combinación de bombas que proporcionen el flujo requerido a la más alta eficiencia.

Device nn Capacity		Value
1		28.0 L/s
2		28.0 L/s
3		28.0 L/s
Device nn Peak Efficiency		Value
1		85 %
2		85 %
3		85 %
Device Type		Value
1		Type A ▼
2		Type A ▼
3		Type A ▼

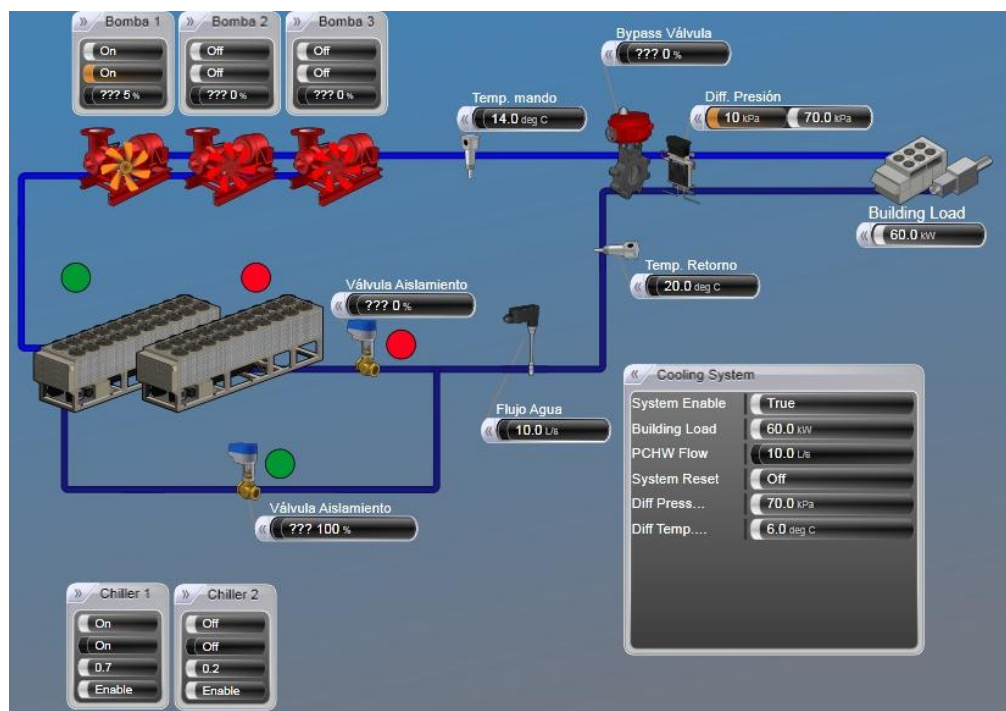
**Figura 3.9: Parámetros de eficiencia de bombas.**

El sistema consiste de tres bombas de velocidad variable conectadas a una tubería de suministro común, de este modo cualquier bomba es capaz de trabajar con cualquier chiller que se encuentra en funcionamiento. El sistema de agua está conectado en una configuración del tipo primario variable, con una válvula de bypass de dos vías entre el suministro de agua y retorno del edificio para mantener flujo mínimo a través de los chillers que se encuentran operando. Las bombas serán elegidas por una combinación de horas de trabajo y arranques/paradas. Si alguna de las bombas presenta falla o ingresara a mantenimiento, será apagada de manera ordenada y arrancara la siguiente bomba disponible.

La velocidad de las bombas primarias será controlada para mantener el setpoint de presión diferencial del edificio. Para asegurar flujo estable, la tasa de cambio al cual las bombas pueden variar su velocidad será limitada a un 10% por minuto

La figura 3.10 muestra la secuencia de arranque para el caso en que no se encuentra ningún chiller encendido.

- Comando de las válvulas de aislamiento a completamente abiertas.
- Una vez probado que las válvulas se encuentran abiertas, se comanda a arrancar las bombas correspondientes.
- Con la confirmación de arranque de las bombas. Después de 60 segundos (tiempo de estabilización), se comanda el arranque del primer chiller.

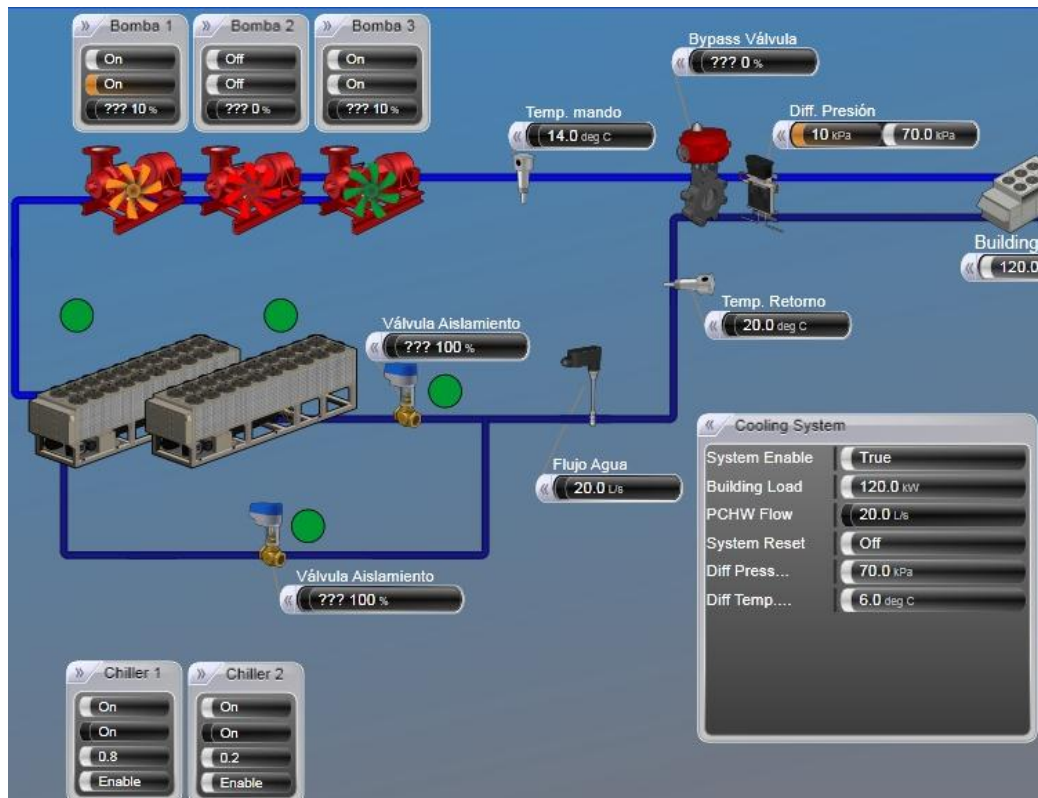


**Figura 3.10: Secuencia de arranque inicial.**

La figura 3.11 muestra el arranque de chillers adicionales, esto solo ocurrirá cuando.

- Los chillers en funcionamiento actual están operando a su máximo o excediendo su capacidad máxima de diseño.

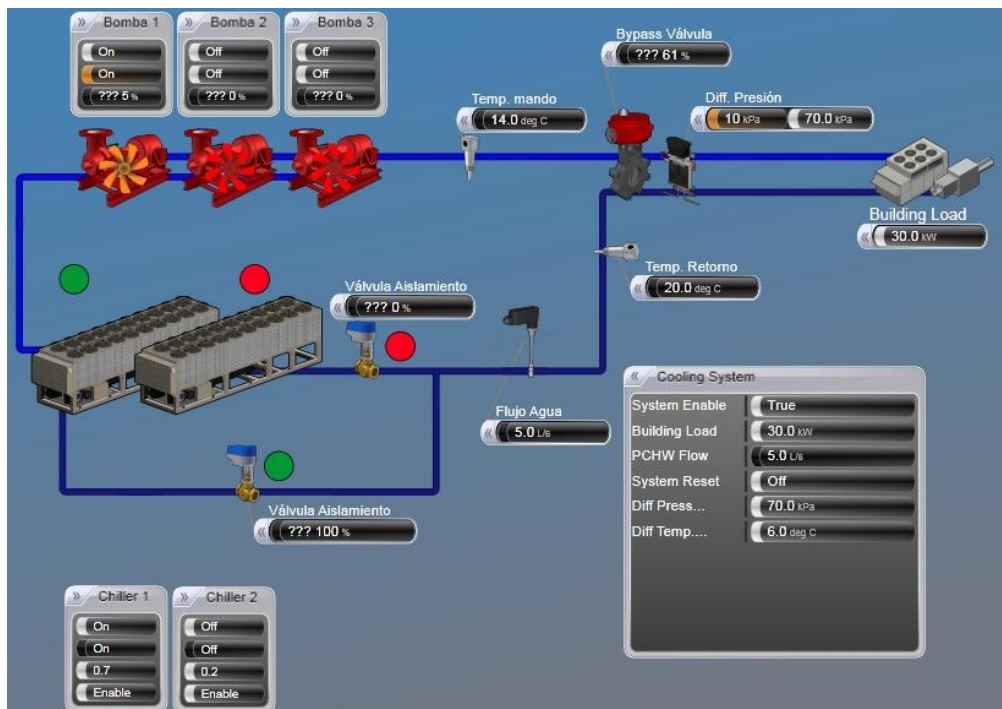
- La temperatura de suministro se haya elevado 1.7 °c por encima del setpoint por un periodo de tiempo de 20 minutos.
- El flujo de diseño a través de los chillers exceda su máximo valor por un periodo de tiempo de 20 min.



**Figura 3.11: Ingreso de chillers adicionales.**

El programa modulara la válvula de bypass para asegurar flujo mínimo a través de los chillers que se encuentran operando. Esto se logra midiendo el flujo de agua hacia el edificio y usando este valor como entrada a un bloque de control, el cual modula la posición de la válvula de bypass. El flujo de bypass deseado es igual a la suma de los flujos mínimos de los chillers en operación menos el flujo de agua que sale del edificio. Si este valor es menor que cero entonces la válvula de bypass es comandada a cerrarse, figura 3.12.





**Figura 3.12: Funcionamiento válvula de bypass.**

Cuando los chillers reciben comando de parada, las bombas continuaran circulando por cinco minutos adicionales. Pasado los cinco minutos las bombas apagarán, una vez se haya confirmado su estado de apagado las válvulas de aislamiento cerraran.

### 3.3 Unidad Manejadora de aire

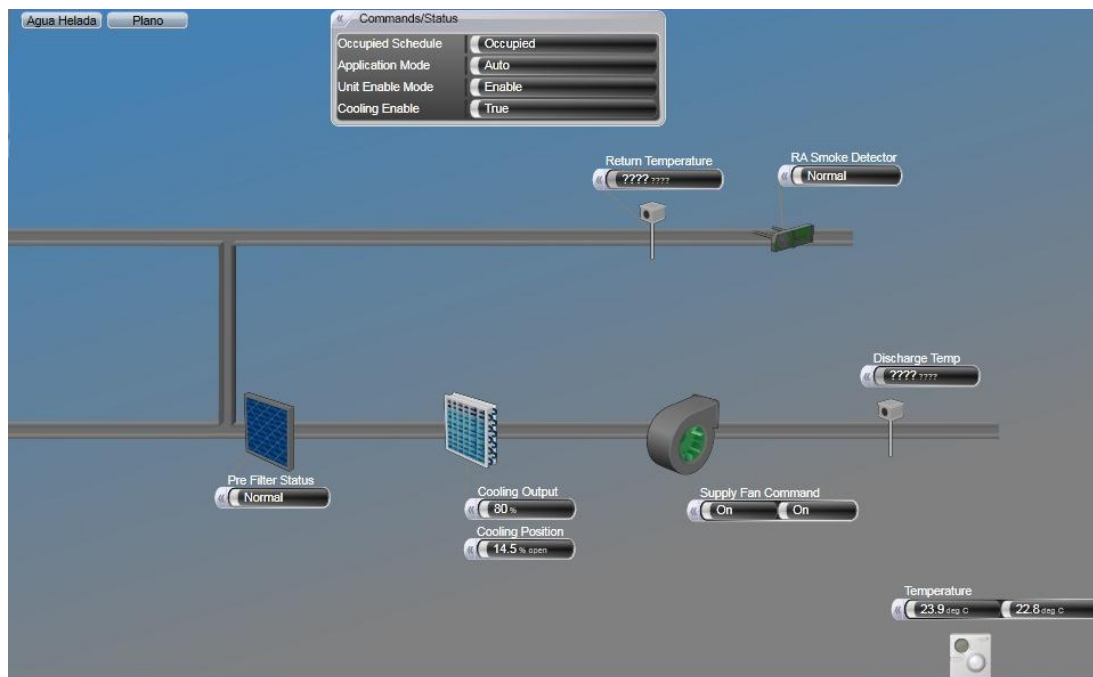
La figura 3.13 muestra la simulación del programa de control de las unidades manejadoras de aire, el programa funciona de la siguiente manera:

El ventilador de suministro de velocidad constante será iniciado basado en un horario de funcionamiento. Cuando el estado del ventilador indique que el ventilador ha arrancado, la secuencia de control se habilitara. Ante la pérdida de flujo de aire (ventilador apagado), el sistema trata de reiniciarse automáticamente.

La unidad será controlada para mantener el setpoint local de temperatura, según lo marcado por el termostato de zona.

La unidad será controlada a través de una entrada virtual, durante los periodos de ocupación el equipo permanecerá encendido realizando el control de temperatura. En los periodos de in ocupación la unidad permanecerá apagada.

El serpentín de enfriamiento modulara para mantener el setpoint de temperatura, cuando la unidad se encuentre apagada, el serpentín estará apagado. Ante la pérdida de flujo de aire, el serpentín permanecerá apagado.



**Figura 3.13: Simulación programa de UMA.**

Ante la pérdida de energía, el reinicio de la unidad será demorado 60 segundos. La unidad cuenta con un sensor de detección de humo ubicado en el retorno de aire. Ante la presencia de humo el equipo mantendrá apagado el ventilador de suministro.

### 3.4 Análisis de costos

Una vez realizada la selección de equipos y dispositivos requeridos se elaboró la tabla de precios referenciales de todos y cada uno de los elementos a utilizar. La tabla 4 muestra las unidades y lista; con cada uno de los precios, tanto para la Planta de Agua Helada, Unidades Manejadoras de Aire y Fancoils. También se detalla una breve descripción de cada elemento, número de partes y el fabricante. Estos se encuentran disponibles en el mercado ecuatoriano; dichos elementos se pueden reemplazar por elementos de equipos de otros fabricantes siempre y cuando se cumplan las características técnicas.

CHWS	Planta de Agua	Fabricante	Precio Unitario	Cantidad	
Labor	Labor		\$2,771.87	1	\$2,771.87
DPT2302-050D	Sensor de presión, 0-50 psi, VDC	Johnson Controls,	\$440.49	1	\$440.49
VFC-050HB-703N	Válvula mariposa de 2 vías, 5 plg, proporcional	Johnson Controls,	\$2,449.90	3	\$7,349.70
RH2B-UAC24-L	Relé 24 VAC, 10 A	Johnson Controls,	\$9.07	2	\$18.14
SH2B-05	Base para Relé	Johnson Controls,	\$37.17	2	\$74.34
F-1210	Medidor de Flujo	Johnson Controls,	\$1,847.31	1	\$1,847.31
F-STD-INSTL1	Kit de instalación para sensor de flujo	Johnson Controls,	\$73.26	1	\$73.26
VS025210A-N0000	Variador de frecuencia 230 V, 25Hp	Johnson Controls,	\$2,053.83	3	\$6,161.49
CSD-SA1E1-1	Switch de corriente, con relé	Johnson Controls,	\$60.75	3	\$182.25
TE-631AM-2	Sensor de temperatura, 1kohm, níquel	Johnson Controls, Inc.	\$17.19	2	\$34.38
TE-6300W-102	Termopozo	Johnson Controls,	\$51.68	2	\$103.36

PAKLJJ002AH0	MS-FAC2611-0	Johnson Controls,	\$1,520.29	1	\$1,520.29
<b>Total</b>					<b>\$20,576.88</b>
					<b>Planta de Agua</b>

AHU	Manejadoras de aire	Fabricante	Precio Unitario	Cantidad	
Labor	Labor		\$539.53	2	\$1,079.06
VG1241FR+909GGC	Válvula de bola de 2 vías	Johnson Controls, Inc.	\$337.09	2	\$674.18
TE-6311M-1	Sensor de temperatura, 1kohm, níquel	Johnson Controls, Inc.	\$14.81	4	\$59.24
P32AC-2C	Switch de presión	Johnson Controls, Inc.	\$83.86	2	\$167.72
FTG18A-600R	Tubo de muestra	Johnson Controls, Inc.	\$12.06	2	\$24.12
D4120	Detector de humo de ducto	Johnson Controls, Inc.	\$162.33	2	\$324.66
DST10	Tubo de muestra	Johnson Controls, Inc.	\$30.17	2	\$60.34
CSD-SA1E1-1	Switch de corriente, con relé	Johnson Controls, Inc.	\$60.74	2	\$121.48
NS-BTB7002-0	Sensor de temperatura de zona	Johnson Controls, Inc.	\$79.03	2	\$158.06
PAKL00001FH0	Panel de controlador 16 X 20,	Johnson Controls, Inc.	\$990.20	2	\$1,980.40
<b>Unidad Manejadora de Aire</b>			<b>\$2,325.32</b>	<b>2</b>	<b>\$4,680.26</b>

FCU	Fan Coil.TEC		Precio Unitario	Cantidad	
Labor	Labor		\$88.82	33	\$2,931.06
VG1241BG+906GGC	Válvula de bola de 2 vías	Johnson Controls, Inc.	\$204.59	33	\$6,751.47
TEC2646-4	Termostato, 3	Johnson	\$366.42	33	\$12,091.86

	velocidades de ventilador	Controls, Inc.			
TEC-6-PIR	Sensor de ocupación,	Johnson Controls, Inc.	\$113.42	33	\$3,742.86
P32AF-1C	Switch de presión	Johnson Controls, Inc.	\$78.81	33	\$2,600.73
FTG18A-600R	Tubo de muestra	Johnson Controls, Inc.	\$12.06	33	\$397.98
CSD-SF0C0-1	Switch de corriente	Johnson Controls, Inc.	\$28.93	33	\$954.69
RIB2401B	Relé exteriores, 24 VAC, 20A	Johnson Controls, Inc.	\$23.23	99	\$2,299.77
Y65T31-0	Transformador 220/120 VAC – 24 VAC	Johnson Controls, Inc.	\$44.99	33	\$1,484.67
<b>Fancoil</b>	<b>Total</b>		<b>\$1,007.73</b>	<b>33</b>	<b>\$33,255.09</b>
			<b>\$58,757.03</b>	<b>1</b>	<b>\$58,757.03</b>
			<b>Total:</b>		<b>\$58,757.03</b>

**Tabla 4: Presupuesto**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. La implementación de un sistema de control para el funcionamiento del sistema de climatización contribuye a la eficiencia y ahorro de energía porque los elementos no se encuentran funcionando en todo momento al cien por ciento de su capacidad, solo se consume lo que se está necesitando de carga de frío, esto obliga a equipos como bombas a reajustar su velocidad para cubrir la demanda.
2. El uso de equipos individuales para la climatización de las zonas del edificio, permite satisfacer las necesidades de confort de las diferentes clases de usuarios que usan el edificio, cada cuarto tiene un control individual de temperatura para ajustarse a las necesidades de quien lo ocupe, sin afectar al resto del edificio.
3. La interfaz gráfica permite controlar de manera remota la gestión de confort del edificio, por medio de horarios, gráficos que muestran lo que está sucediendo en el sistema de climatización en tiempo real, el operador tendrá acceso a la información de la planta en todo momento a través de gráficos representativos, alarmas y mensajes adicionales que ayudaran a conocer el estado de operación de la planta de agua. .
4. Los sistemas de agua helada enfriados por aire proporcionan en términos generales rendimientos de 1 kW/h por tonelada de refrigeración, mientras que otros sistemas como el de expansión directa tienen rendimientos de 1.3 kW/h por tonelada de refrigeración. En términos de costos esto representa un ahorro monetario y energético a mediano-largo plazo, que nos permite recuperar la inversión inicial.

## **Recomendaciones**

1. Se recomienda calibrar todos los sensores usados en el sistema de climatización, para garantizar de este modo un mejor funcionamiento de los equipos, una mayor eficiencia y ahorro energético.
2. Revisar periódicamente la información que proporciona la interfaz gráfica, con esto se puede programar de manera correcta los mantenimientos preventivos necesarios para los diferentes equipos y garantizar un nivel de confort al edificio.
3. Ajustar los horarios de funcionamiento de los equipos para que reflejen el tiempo de ocupación del edificio, no deben de haber equipos encendidos en zonas desocupadas, esto representa un desperdicio de energía. Si se requiere tener una zona climatizada previo a su operación se puede encender el equipo quince minutos antes de que el área sea ocupada.
4. El sistema de control está diseñado para zonas de alta temperatura, para zonas de clima frío se recomienda ajustar los programas para aprovechar el frío de la temperatura de ambiente y mantener el confort en el edificio.
5. Se recomienda que la computadora donde se realizara el monitoreo del sistema de climatización sea de uso exclusivo para estas actividades y que su acceso sea solo a personal capacitado en sistemas de climatización.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Universidad Kentucky. Calefacción, ventilación y aire acondicionado [online].

Disponible:

[http://www.uky.edu/bae/sites/www.uky.edu.bae/files/CAPITULO\\_7.pdf](http://www.uky.edu/bae/sites/www.uky.edu.bae/files/CAPITULO_7.pdf)

[2] Johnson Controls. Automatización y supervisión. Disponible en:

[http://www.johnsoncontrols.es/content/dam/WWW/jci/be/eu\\_library/product\\_formation/bms\\_products/supervisory\\_and\\_automation/ES-catalogue\\_pages/ES-NAE.pdf](http://www.johnsoncontrols.es/content/dam/WWW/jci/be/eu_library/product_formation/bms_products/supervisory_and_automation/ES-catalogue_pages/ES-NAE.pdf)

[3] Revista Mundo HVACR. Optimización de plantas de agua helada. Disponible en:

<http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2011/05/optimizacion-de-plantas-de-agua-helada/>

[4] Revista Mundo HVACR. Edificio sustentable. Disponible en:

<http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/categoria/medioambiente/edificio-sustentable/>

[5] Johnson Controls. Equipos de campo para manejo de edificios. Disponible en:

[http://latinamerica.johnsoncontrols.com/content/latin\\_america/es/products/building\\_efficiency/products-and-systems/building\\_management/facility\\_explorer/field\\_controllers.html](http://latinamerica.johnsoncontrols.com/content/latin_america/es/products/building_efficiency/products-and-systems/building_management/facility_explorer/field_controllers.html)

[6] Johnson Controls. (2010, Octubre 04). Optimización de sistemas de agua.

Disponible en:

[http://arcticconnect.arcticchillergroup.com/Knowledgebase/JCI\\_CPO10\\_ApplicationManual.pdf](http://arcticconnect.arcticchillergroup.com/Knowledgebase/JCI_CPO10_ApplicationManual.pdf)

[7] Johnson Controls. (2015, Octubre 02). Optimización de sistemas de agua.

Disponible en:

[http://cgproducts.johnsoncontrols.com/MET\\_PDF/12011575.pdf](http://cgproducts.johnsoncontrols.com/MET_PDF/12011575.pdf)