



Universidad Carlos III de Madrid

Automatización y control del sistema de climatización en edificio de oficinas.

Titulación: Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Autor: Antonio Manjón Vega

Tutor: Ramón Barber Castaño

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- 1.1 Motivación
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Partes del documento

2 ARQUITECTURA PROPUESTA

- 2.1 Descripción del sistema físico a controlar
- 2.2 Arquitectura del sistema
- 2.3 Listado de señales por CPU
- 2.4 Instalación eléctrica y cuadros de control
- 2.5 Memoria de funcionamiento detallada de la instalación

3 ELECCION DE COMPONENTES

- 3.1 Elección de controladores.
- 3.2 Elección tipo tarjetas entradas salidas
- 3.3 Sensores
- 3.4 Actuadores
- 3.5 Elementos de comunicación y sistema SCADA

4 IMPLEMENTACIÓN

- 4.1 Cálculo parámetros PIDs
- 4.2 Programación
- 4.3 Integración en sistema SCADA

5 PUESTA EN MARCHA Y EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO

- 5.1 Seguimiento de puesta en marcha
- 5.2 Ejemplo de funcionamiento

6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- 6.1 Conclusiones
- 6.2 Trabajos futuros



7 PROPUESTA ECONÓMICA

8 REFERENCIAS

ANEXOS

A1: DOCUMENTACIÓN

- 9 Equipos de control (Controladores y tarjetas)
- 10 Elementos de entrada (Sondas)
- 11 Elementos de salida (Actuadores)
- 12 Cableado.
- 13 Elementos y software de programación, puesta en marcha e integración.

A2: PLANOS

A3: CODIGOS PROGRAMA

1

INTRODUCCIÓN. Motivación.

El presente proyecto viene motivado por el auge que ha experimentado la automatización industrial en los últimos años, dotando a las industrias y empresas de sistemas de control totalmente automáticos e integrados.

La automatización industrial [1] es un conjunto de técnicas basadas en sistemas capaces de recibir información del proceso sobre el cual actúan, realizar acciones de análisis, organizarlas y controlarlas apropiadamente con el objetivo de optimizar los recursos de producción, como los materiales, humanos, económicos, financieros, etc. La automatización de una empresa dependiendo del proyecto puede ser parcial o total, y se puede ajustar a procesos manuales o semiautomáticos.

La automatización de las plantas industriales es un aspecto muy importante en el crecimiento de las empresas ya que se ven en la necesidad de:

- Incrementar la demanda del producto.
- Ofrecer productos de mejor calidad.
- Optimizar los procesos.
- Optimizar el consumo de energía.

La principal razón de automatizar es el incremento de la productividad, ello se logra racionalizando las materias primas e insumos, reduciendo los costos operativos, reduciendo el consumo energético, incrementando la seguridad de los procesos, optimizando el recurso humano de la empresa y mejorando el diagnóstico, supervisión y control de calidad del proceso.

La automatización industrial abarca todos los campos dentro de una industria o empresa, desde procesos industriales de producción y fabricación hasta el control para sistemas de climatización, protección contra incendios, intrusión, control de accesos, etc.

El desarrollo de la automatización y control industrial de los últimos años está ampliando su rango de acción a otros procesos que hasta entonces no disponían de un control automático.

La automatización, control e integración de los sistemas de climatización es uno de los procesos que está experimentando un mayor auge en los últimos años motivado, sobre todo, por la necesidad de optimizar el consumo energético.

Gracias a la automatización de los sistemas de climatización se consigue optimizar el consumo energético y la mano de obra ya que se dispone de un sistema que funciona de manera automática optimizando todos los procesos que intervienen en él y permitiendo a los mantenedores del sistema dedicarse a otra serie de trabajos que no implique la supervisión constante de éste.

1.2 Objeto del Proyecto.

El presente proyecto pretende dar solución a los requerimientos del cliente en lo referente a la automatización y control del sistema de climatización instalado en el edificio.

Se trata de un edificio de oficinas de seis plantas útiles, diáfanas, más una planta sótano donde se ubica la **sala de calderas** y la **sala de máquinas** encargadas del proceso de producción de agua caliente y fría respectivamente. En la cubierta del edificio se han instalado **dos climatizadores**. Cada uno de ellos será el encargado de climatizar tres de las seis plantas útiles del edificio. En la misma cubierta se ha instalado una **torre de condensación** encargada de la refrigeración de los grupos de frío de la sala de máquinas.

A su vez, se han instalado en la zona perimetral de las seis plantas útiles un conjunto de **fancoils** que servirán de apoyo a los climatizadores para la función de climatización de las plantas.

Se pretende automatizar y controlar todos los elementos tanto de la sala de máquinas como de la sala de calderas así como de los dos climatizadores y la torre de condensación ubicados en la cubierta del edificio. También se controlarán los elementos propios de los fancoils instalados en el perimetral de las plantas.

Todos estos sistemas interactuarán de manera automática entre ellos y, como parte final del proyecto, se integrarán en un **sistema de gestión centralizado SCADA**. De este modo se conseguirá cumplir con la necesidad del cliente ofreciéndole un sistema que le mostrará toda la información que precise en tiempo real y posibilitándole, en todo momento, un control total de la instalación.

1.3 Partes del documento.

En el presente documento se indican los siguientes alcances de ingeniería básica y de detalle:

- a) Descripción del sistema físico en el que se incluyen tanto las máquinas como los elementos a controlar.
- b) Diseño de la arquitectura del sistema de control y diseño de la instalación eléctrica desde los elementos a controlar hasta los cuadros de control con todos sus mecanismos de protección y mando.
- c) Diseño e implementación de la memoria de funcionamiento detallada de la instalación a controlar.
- d) Elección de los componentes de control entre los que se incluyen controladores, tarjetas de entradas y salidas, elementos de instrumentación tales como sensores y actuadores, buses de datos necesarios para la comunicación entre los controladores y el sistema SCADA y descripción propia del sistema SCADA.
- e) Implementación del sistema de control mediante la programación de los controladores así como su seguimiento de puesta en marcha.
- f) Cálculo de los parámetros de los PID presentes en el sistema de control.
- g) Descripción e implementación del sistema de comunicación entre controladores y sistema SCADA.
- h) Integración de señales en el sistema SCADA, creación de bases de datos y diseño de gráficos.
- i) Ejemplo de funcionamiento del sistema de control.
- j) Propuesta económica.



2 ARQUITECTURA PROPUESTA.

Descripción del sistema físico a controlar.

La instalación consta, a priori, tanto de las máquinas como de los elementos de campo que intervienen en el proceso de climatización de un edificio de las características descritas. El objetivo del presente proyecto se centra en dotar a dicha instalación de los elementos de instrumentación y dispositivos de control necesarios para conseguir que ésta sea capaz de funcionar de forma autónoma cumpliendo con los patrones marcados por la normativa de aplicación vigente y teniendo en cuenta tanto las condiciones climatológicas externas como las necesidades impuestas por el usuario, dotando a éste de un control total de la instalación y una visualización en tiempo real de toda la información referente a la instalación.

Las máquinas y elementos de campo de que consta la instalación se pueden agrupar en cinco etapas bien diferenciadas (*Figura 2.1.1*) las cuales interactúan entre sí para conseguir la adecuada climatización del edificio. A continuación se describe brevemente cada uno de los sistemas físicos a controlar así como la interacción entre ellos.

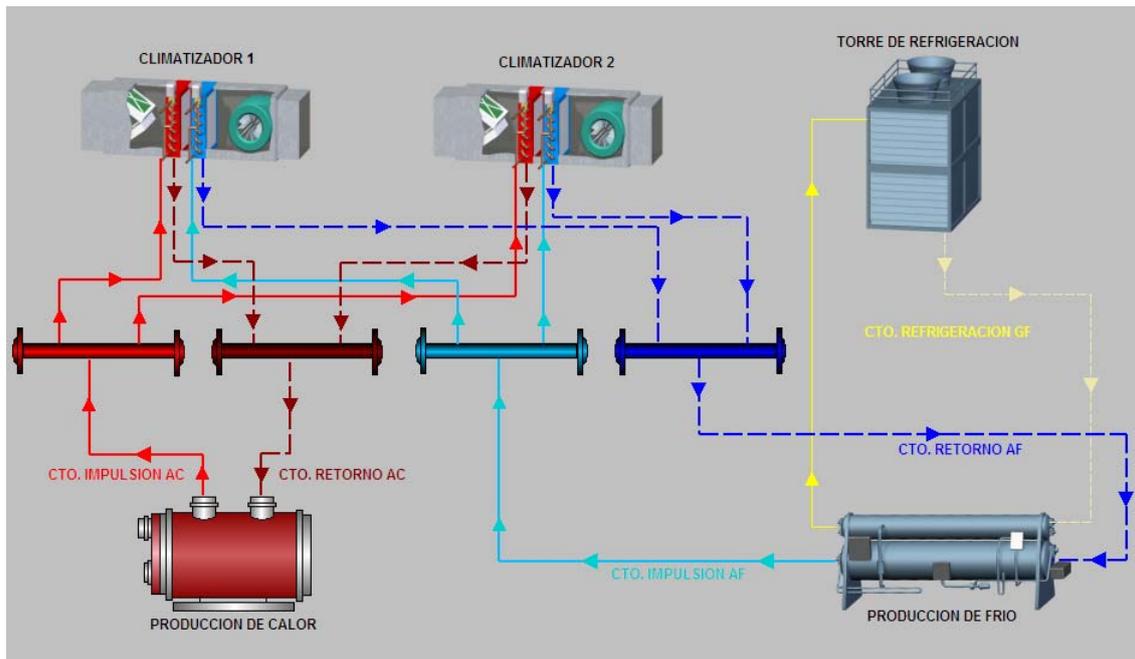


Figura 2.1.1

- Etapa 1 (Producción de calor: Sala de calderas): En esta etapa las calderas se encargan de producir el agua caliente necesaria para abastecer al resto de la instalación y teniendo en cuenta la demanda de ésta [2]. El agua caliente que sale de las calderas se conducirá hasta las baterías de calor de los climatizadores y fancoils donde una vez realizado el intercambio térmico, se retornará de nuevo a las calderas para volver a calentarla.

- Etapa 2 (Producción de frío: Sala de máquinas): En esta etapa, los grupos de frío se encargan de producir el agua fría necesaria para abastecer al resto de la instalación y teniendo en cuenta la demanda de ésta [3]. El agua fría producida por los grupos se conduce hasta las baterías de frío de los climatizadores y fancoils donde una vez realizado el intercambio térmico, se retornará de nuevo a los grupos para volver a enfriarla.

- Etapa 3 (Torres de refrigeración): La torre de condensación situada en la cubierta del edificio es un elemento fundamental para asegurar el correcto funcionamiento de los grupos de frío [4] encargándose de la refrigeración de los mismos. Su misión consiste en enfriar el agua de los condensadores de los grupos para que estos puedan producir en sus módulos de evaporación el agua fría necesaria que consumirá el resto de la instalación.

- Etapa 4 (Climatizadores): Los climatizadores [5] son las máquinas principales que intervienen en el proceso de tratamiento del aire en el sistema de climatización. Reciben el agua caliente y/o fría proveniente de las calderas y grupos de frío y la utilizan para calentar o enfriar el aire mediante el intercambio térmico entre el agua y el aire.

Dependiendo de la necesidad de la instalación y de las condiciones climatológicas externas aportarán en mayor o menor cantidad el caudal de aire frío o caliente necesario al edificio. Por otro lado, se encargan de controlar y regular la humedad ambiente en las plantas a climatizar aportando, si es necesario, humedad al aire en tratamiento mediante unos humectadores instalados en los propios climatizadores.

- Etapa 5 (Fancoils): Los fancoils son máquinas [6] que funcionan de manera similar a los climatizadores y en apoyo a éstos. Su objetivo se centra en el tratamiento del aire que se aportará al edificio para climatizar el mismo. Del mismo modo que ocurre con los climatizadores, los fancoils reciben el agua fría o caliente que proviene directamente de las calderas y grupos de frío y que utilizan para calentar o enfriar el aire. La principal diferencia que existe entre éstos y los climatizadores radica en que los fancoils no presentan dispositivos para controlar y regular la humedad del aire. Son máquinas cuya capacidad para tratar el aire, en cuanto a volumen de este se refiere, es bastante inferior a la de los climatizadores. Por este motivo, los fancoils se utilizan como apoyo de los climatizadores. Al estar distribuidos por todo el perimetral de las plantas y tener un control independiente para cada uno de ellos, se consigue tener un mayor grado de libertad para climatizar de manera distinta zonas que se encuentran dentro de la misma planta.

A continuación se describe de forma detallada cada una de las etapas anteriores:

SALA DE CALDERAS (PRODUCCIÓN DE CALOR).

La sala de calderas [2] de la instalación está constituida por **dos calderas** de gasoil de 700.000 Kcal/h cada una de ellas. La instalación está preparada para que ambas calderas **trabajen en paralelo**. Existen **dos depósitos de gasoil** de 15000 litros que suministran combustible a ambas calderas. Se pretende controlar la cantidad de combustible disponible en cada depósito para asegurar el suministro de éste a las calderas. Cuando el nivel del depósito se encuentre por debajo de un valor determinado, se producirá una alarma que indicará que el depósito necesita ser llenado.

Se pretende que las calderas trabajen simultáneamente o de forma independiente atendiendo a las necesidades de la instalación en cada momento, es decir, a la demanda de agua caliente. Para ello tanto las entradas como las salidas de agua de las calderas están conectadas entre sí mediante los colectores de retorno e impulsión (*Figura 2.1.2*). Las dos calderas disponen de sus respectivas **órdenes de marcha-paro** que servirán para dar permiso de activación a las calderas así como de un **estado de confirmación** de dicha orden a través de un contactor. Cada una de ellas dispone también de un **contacto libre de tensión** que dará una alarma en caso de que la presión o la temperatura en la caldera sea demasiado alta, caso en el que se procederá a la parada de ésta. En la tubería de entrada de cada caldera se instalará un **interruptor de flujo** que confirmará la entrada de agua a la caldera, confirmación sin la cual no se podrá activar nunca dicha caldera.

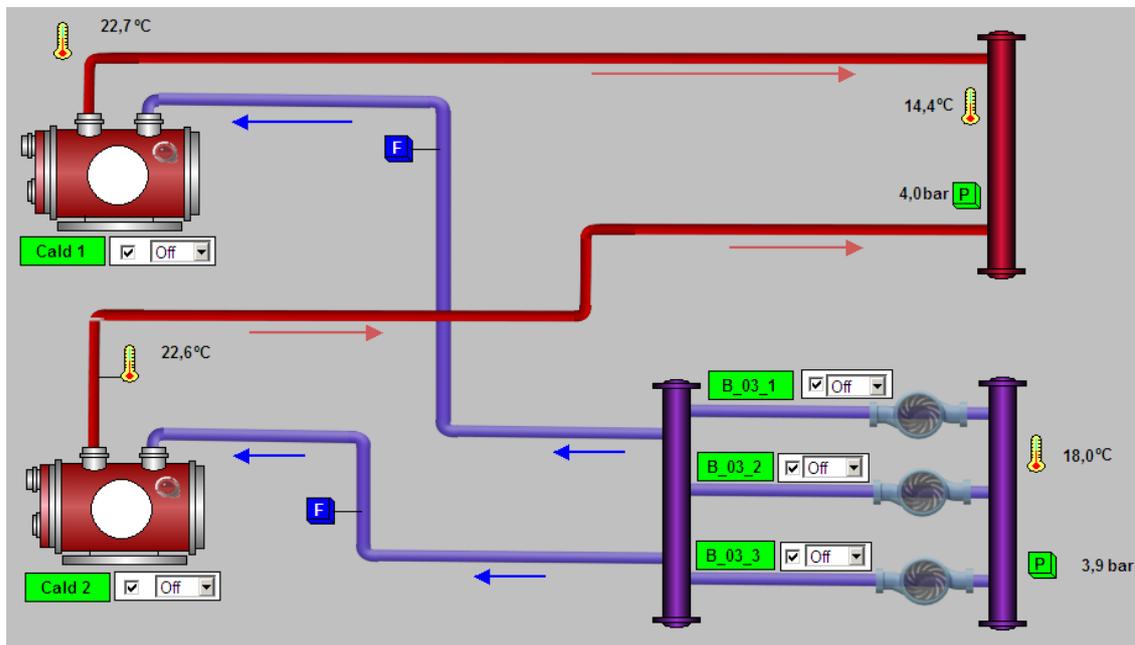


Figura 2.1.2

En la tubería de salida de cada caldera se instalará una **sonda de temperatura** que servirá para conocer la temperatura a la que sale el agua una vez calentada. Dichas salidas llegan hasta el colector de impulsión desde el cual se distribuye el agua caliente al resto de la instalación (baterías de calor de climatizadores y fancoils). En el colector de impulsión se instalarán dos sondas, una de presión y otra de temperatura con carácter puramente informativo. Una vez realizado este proceso, el agua caliente, ya enfriada, se retorna de nuevo a un segundo colector (colector de retorno) que será el encargado de conducir de nuevo el agua a las calderas para volver a calentarla.

El colector de retorno está compuesto a su vez por dos colectores entre los cuales se han instalados tres bombas de agua encargadas de proporcionar la presión al circuito primario de agua caliente de modo que se garantice la presión necesaria para que el agua llegue a todos los elementos de la instalación.

A la entrada del colector de retorno se instalará una **sonda de temperatura** que determinará la activación/desactivación de las calderas y una sonda de **presión** que determinará la secuencia de funcionamiento de las bombas. Las bombas trabajarán de forma paralela atendiendo a las necesidades de la instalación, y del mismo modo que ocurría con las calderas, se dispone de las respectivas órdenes de marcha-paro y estado de funcionamiento para cada una de ellas.

El funcionamiento en modo automático de la sala de calderas se detallará en la memoria de funcionamiento incluida en el presente proyecto.

SALA DE MÁQUINAS (PRODUCCIÓN DE FRÍO).

Los elementos principales de la sala de máquinas son dos grupos de frío de 610000 frig/h cada unidad encargados de producir el agua fría necesaria para abastecer al resto de la instalación [3].

Al igual que ocurría en la sala de calderas, la instalación está preparada para que los grupos de frío trabajen en paralelo o de forma independiente atendiendo a las necesidades de la instalación (*Figura 2.1.3*). Los dos grupos disponen de sus respectivas **órdenes de marcha-paro** que servirán para dar permiso de activación a éstos así como de un **estado de confirmación** de dicha orden recibida a través de un contactor. A su vez cada grupo posee una **señal de alarma** que entregará él mismo a través de un contacto libre de tensión y que provocará la parada de éste.

Cada grupo de frío está constituido principalmente por dos partes bien diferenciadas. Por un lado está el evaporador que es la parte encargada de enfriar el agua que va a ser utilizada en la instalación. La otra parte principal es el condensador, que es el encargado de refrigerar el propio grupo de frío.

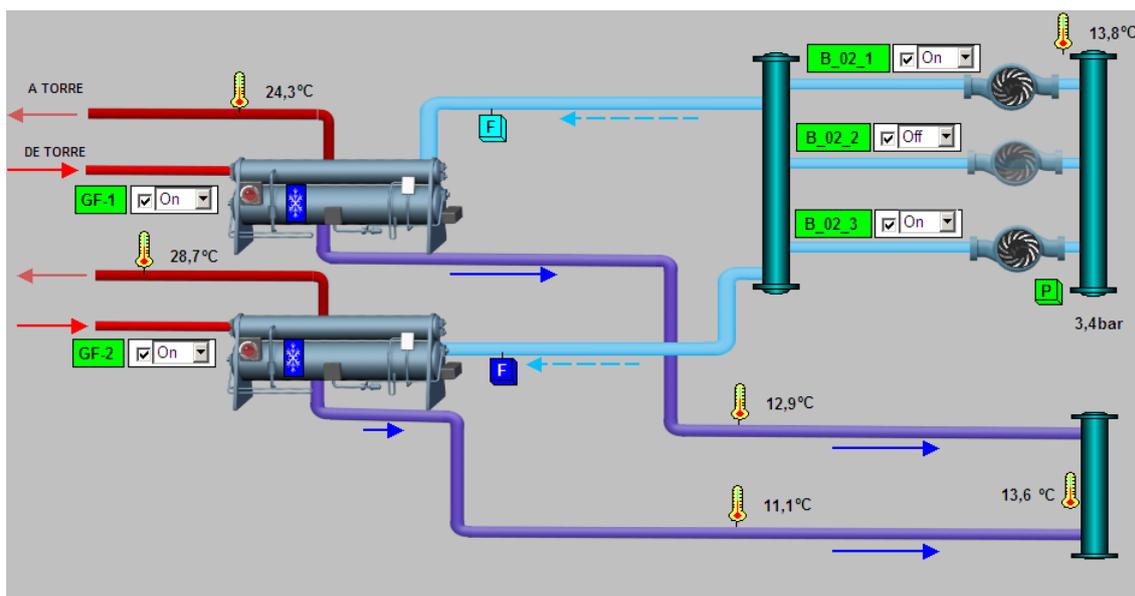


Figura 2.1.3

A la **salida del evaporador** de cada grupo de frío se instalará una **sonda de temperatura** que determinará la temperatura de salida del agua enfriada en cada grupo. Ambas tuberías llegan hasta un colector de impulsión y de ahí el agua enfriada se distribuye al resto de la instalación. En dicho colector se instalará una **sonda de temperatura de carácter informativo** y una **sonda de presión**. En las tuberías de entrada al evaporador de cada grupo de frío se instalará un detector de flujo para confirmar la entrada de agua a éste y en caso de no producirse no se activará el grupo bajo ningún concepto.

El **circuito de retorno** de agua enfriada está compuesto por dos colectores de retorno entre los cuales se han instalado tres bombas de agua que permiten suministrar la presión necesaria al circuito para que el agua fría sea capaz de llegar a todos los subsistemas de la instalación. En el colector de retorno primario se ha instalado una sonda de temperatura que determinará la secuencia de activación de los grupos de frío. También dispondrá de una sonda de presión que determinará la secuencia de activación de las bombas. Ambas sondas determinan la necesidad real de agua fría en la instalación.

Las **bombas** de los colectores de retorno funcionan de la misma forma que las que intervienen en el proceso de producción de calor. Tres bombas trabajando en paralelo de las cuales se recoge señal de **marcha-paro y estado** de funcionamiento de cada una de ellas.

El funcionamiento en modo automático de la sala de máquinas se detallará en la memoria de funcionamiento incluida en el presente proyecto.

TORRES DE CONDENSACIÓN (CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN).

Como se ha explicado anteriormente, el condensador de los grupos de frío se encarga de refrigerar los propios grupos cuando estos están trabajando [4]. El circuito de refrigeración funciona de la siguiente manera.

Existen dos torres de condensación ubicadas en la cubierta del edificio, cada una de ellas asociada a uno de los grupos de frío. La salida del condensador del grupo 1 llega hasta la torre 1 y la del grupo 2 hasta la torre 2. Cuando el agua llega a las torres, estas se encargan de enfriarla mediante su pulverización a través de unas duchas situadas en la parte superior de estas y, si es necesario, a través de la activación de un ventilador que se encuentra en su interior. Cada torre dispone, a su vez, de una resistencia de calentamiento que servirá para calentar el agua en caso de que la temperatura de ésta sea demasiado baja.

Las salidas de agua de las torres se encuentran en un colector situado en la sala de máquinas que impulsa el agua a través de tres bombas a la entrada del condensador de ambos grupos (*Figura 2.1.4*). Como ocurre con el resto de **bombas**, se recogerán sus señales de **marcha-paro y estado** y el funcionamiento de estas vendrá determinado por el grupo de frío que esté funcionando en ese momento.

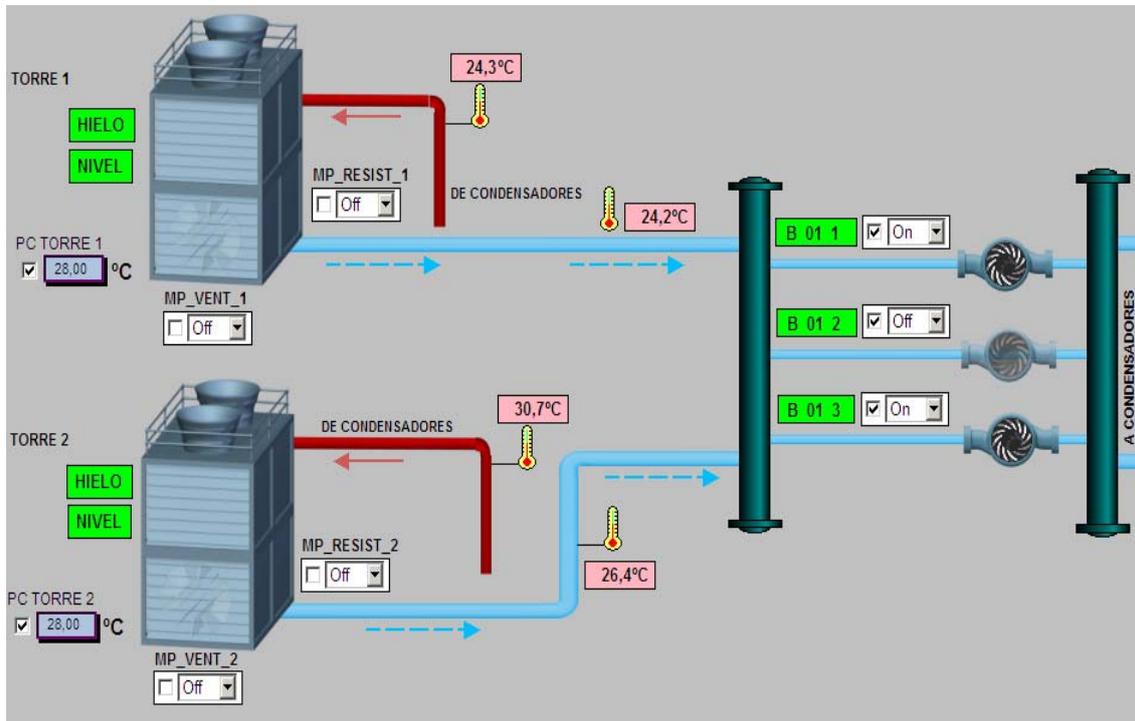


Figura 2.1.4

En cuanto a los elementos que intervendrán en el control de las **torres**, cabe destacar una **sonda de temperatura a la entrada** de cada torre y puramente informativa y otra a la **salida que se encargará de la secuencia de marcha/parada del ventilador**. Se dispone de señales de **marcha-paro** y **estado del ventilador** de cada torre.

Como elementos de seguridad propios de las torres, éstas disponen de dos contactos libres de tensión, uno para reflejar una alarma de antihielo y otra para alarma de nivel bajo de agua.

La instalación del sistema de torres permite que éstas puedan trabajar en paralelo de manera simultánea en el caso de que ambos grupos funcionen se encuentren funcionando al mismo tiempo.

El funcionamiento en modo automático del sistema de refrigeración de los grupos de frío se detallará en la memoria de funcionamiento incluida en el presente proyecto.

CLIMATIZADORES

En la cubierta del edificio se encuentran instalados dos climatizadores idénticos que se encargan cada uno de climatizar tres de las seis plantas del edificio [5]. Cada climatizador consta de su conducto de impulsión y retorno dentro de los cuales se encuentran los siguientes elementos (*Figura 2.1.5*):

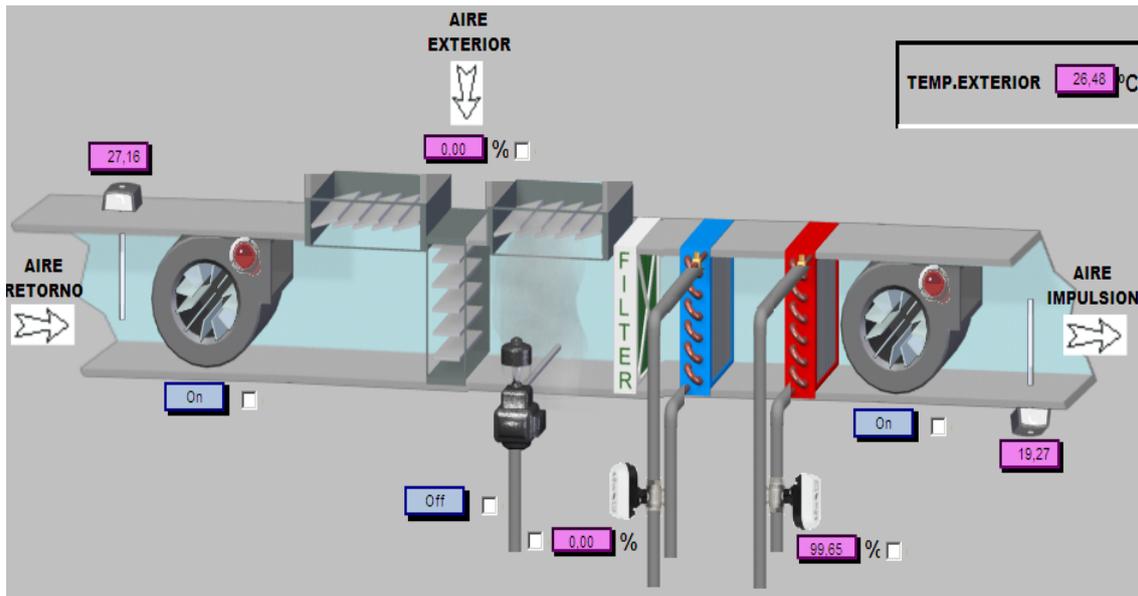


Figura 2.1.5

En el conducto de impulsión se encuentra el ventilador de impulsión accionado por un motor eléctrico de corriente alterna del cual se controlará su activación y estado de funcionamiento, la batería de frío a la cual llega el agua fría procedente de los grupos cuyo caudal es regulado por una válvula de tres vías controlada por un actuador proporcional, la batería de calor a la cual llega el agua caliente procedente de las calderas y cuyo caudal es regulado por una válvula de tres vías controlada por un actuador proporcional, un filtro de aire con un presostato que indicará cuando es necesario cambiar el filtro, un humectador proporcional que aportará al aire la humedad necesaria y una compuerta exterior de impulsión. A la salida del conducto se dispone de una sonda de temperatura y otra de humedad para controlar la temperatura y humedad de impulsión del aire. En esta misma salida se instalará una sonda de presión para controlara la presión de impulsión del aire.

En el conducto de retorno se encuentra instalado el ventilador de retorno accionado por un motor eléctrico de corriente alterna del cual se controla su activación y estado de funcionamiento y una compuerta exterior de retorno. A la entrada del conducto se dispone de una sonda de temperatura y otra de humedad para controlar la temperatura y humedad de retorno del climatizador.

Ambos conductos se encuentran comunicados a través de la llamada compuerta de mezcla. Las tres compuertas disponen de un actuador proporcional que controlará la apertura de éstas.

Se dispone de un variador de frecuencia controlado por el sistema que se encarga de regular la velocidad de los motores de los ventiladores para controlar y regular la presión del aire en los conductos del climatizador.

A partir de todos estos elementos, se conseguirá para cada climatizador, regular la presión de impulsión del aire, la temperatura de retorno y la humedad de retorno, todo ello mediante reguladores PID y lazos de control.

El funcionamiento en modo automático de los climatizadores se detallará en la memoria de funcionamiento incluida en el presente proyecto.

FANCOILS.

La instalación de los fancoils en los perimetrales de las plantas es una instalación a cuatro tubos, es decir, cada fancoil tiene una batería de frío y otra de calor y tanto los circuitos de frío como de calor son independientes. Cada fancoil posee un ventilador [6] con tres velocidades seleccionables mediante software o de forma manual y los elementos de control que intervienen en cada fancoil son un actuador para la válvula de tres vías de cada batería y una sonda de temperatura ambiente instalada en el radio de acción del fancoil. Por lo tanto, la regulación del fancoil se hará a través de su sonda de temperatura ambiente. Para el ventilador se recogerá una señal de marcha-paro y su estado de funcionamiento.

Se han instalado un total de 12 fancoils por planta a través de todo el perimetral de ésta. El funcionamiento en modo automático de los fancoils se detallará en la memoria de funcionamiento incluida en el presente proyecto.

2.2 Arquitectura del sistema de control propuesto.

La arquitectura que se propone a continuación [7] pretende cumplir con las especificaciones del cliente para dotar a la instalación de climatización de un sistema de control automático y gestión centralizada. En ella se describen todos los elementos, sistemas y subsistemas que componen el sistema de control y gestión centralizada.

La arquitectura propuesta para el sistema de control supone una sustancial mejora, en cuanto a prestaciones, maniobrabilidad, efectividad y facilidad de uso, incorporando herramientas y utilidades que facilitan en gran medida los trabajos del



operador, consiguiendo así optimizar al máximo el ahorro energético, los niveles de confort y el tiempo que el operador pueda emplear en dichas tareas.

Como características importantes de la arquitectura de control propuesta cabe destacar:

Integración en redes informáticas de ámbito local: El auge exponencial que se está experimentando en lo que se refiere a la implantación de redes informáticas de ámbito local en la mayoría de los edificios, esta motivado principalmente por las ventajas y rendimientos que éstas aportan a sus usuarios. Los modernos sistemas de control basados en ordenador se han adaptado a estas circunstancias, permitiendo aprovecharse plenamente de estas ventajas. Así los nuevos Puestos de Control diseñados especialmente para funcionar en redes, (usando la propia Intranet de la entidad, asignando a nuestras estaciones/servidores de trabajo la dirección IP correspondiente), permiten volcar datos en éstas de forma masiva, transferir información entre varios puestos, compartir los recursos y equipos periféricos de la red, permiten disponer de varios puestos de control integrados en una misma red, añadir nuevos Puestos de Control y/o cambiar la ubicación de los ya existentes sin necesidad de realizar tendidos de buses de comunicaciones, etc. La comunicación con el edificio vía Internet se hace posible mediante una licencia Web Browser o tantas como usuarios deseen usar este servicio. El usuario no precisa más que la conexión a Internet, pues la licencia se carga en la estación/servidor del edificio, y mediante un password podrá acceder a la información del sistema.

Conectividad con Sistemas y Equipos de otras marcas: Dado que los distintos fabricantes del sector utilizan distintos protocolos de comunicaciones en sus sistemas de control basados en ordenador, con objeto de poder establecer una futura comunicación entre éstos, se han desarrollado los interfaces software necesarios. Así los nuevos Sistemas de Control Honeywell permiten la comunicación con sistemas o equipos de otras marcas, mediante protocolos estándar Advanced DDE, BACNET, OPC, LON Works o MODBUS / JBUS.

Facilidad de uso: Los nuevos sistemas de control basados en modernos ordenadores mejoran y facilitan el diálogo Hombre / Máquina, proporcionando un entorno amigable de trabajo basado en menús desplegable en castellano, en los que su manejo no requiere conocimientos previos de informática. Se utiliza un lenguaje gráfico cuya interpretación es directa e intuitiva, por ejemplo: El estado de funcionamiento de un ventilador se representa con el movimiento o no de sus aspas, el estado de alarma de una sonda se representa por el cambio de color de ésta a rojo parpadeante, etc.

Nuevas y mejores herramientas de trabajo: Los sistemas basados en la arquitectura propuesta incorporan herramientas de trabajo, que facilitan la gestión de las instalaciones y aumentan el nivel de control sobre éstas. Por ejemplo, se incorporan herramientas que automatizan y facilitan la creación de informes estadísticos relativos a: consumos energéticos, niveles de confort, alarmas producidas, horas de funcionamiento de los distintos componentes de las instalaciones, etc. Estas herramientas proporcionan una información vital para llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo, para realizar comparativas y auditorias energéticas, históricos de incidencias, etc.

En la arquitectura de control propuesta se pueden diferenciar tres partes fundamentales (Figura 2.1.6):

- Sistema de control de instalaciones electro mecánicas de la instalación de climatización.
- Sistema de comunicaciones entre controladores y sistema SCADA
- Sistema SCADA

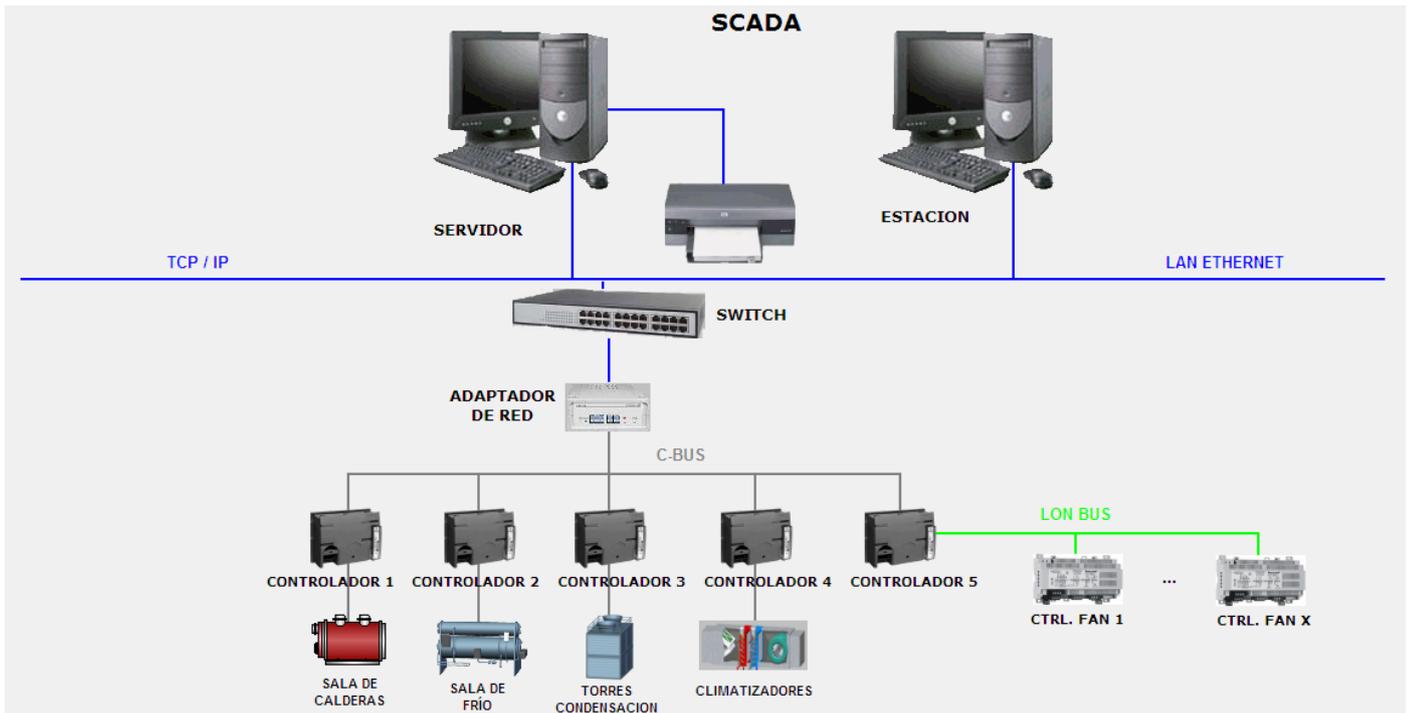


Figura 2.1.6

Sistema de control de instalaciones de climatización.

Para poder controlar y automatizar los distintos procesos del sistema de climatización del edificio se plantea una arquitectura estructurada y distribuida basada en una serie de controladores que regularán de forma automática cada uno de los procesos. **Estructurada** debido a que el sistema parte de un controlador que se encargará de gobernar el proceso y todos los elementos de control que intervienen en él. Del controlador cuelgan las tarjetas de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales, a las que se conectan todos los elementos de control (sensores y actuadores), ordenes y estados. Generarán y recibirán las señales ordenadas por el controlador y que le servirán de información para gestionar el proceso. **Distribuida** debido a la existencia de un controlador independiente para cada proceso a controlar. Con esto se consigue aumentar el rendimiento y funcionalidad del proceso debido a que hay un único controlador dedicado a él.

Con esta estructura se consigue reducir el tráfico de señales de un controlador a otro a través del bus consiguiendo aumentar la capacidad de respuesta del controlador. Este sistema ofrece otra ventaja, en caso de fallo de un controlador éste no afecta al funcionamiento del resto del sistema de climatización a excepción de la parte del proceso que controlaba, lo que evita un posible fallo en cadena de todo el sistema de control. A través del bus de comunicaciones (C-Bus) todos los controladores quedan comunicados entre sí con el fin de que los procesos puedan interactuar entre sí y compartir señales de control que afecten a uno o más procesos.

Por tanto la arquitectura de controladores dentro del sistema de control quedará de la siguiente forma:

- Se instalará un controlador por cada proceso del sistema de climatización a controlar. Por tanto se instalarán un total de cuatro controladores dedicados, cada uno de ellos, al control de la producción de frío, la producción de calor, los climatizadores y las torres de refrigeración. Se instalará un quinto controlador del cual colgarán los controladores de los fancoils. Éste funcionará como enlace para comunicar los controladores de los fancoils con los controladores del resto de la instalación a través del C-Bus debido a que los controladores de fancoils comunican entre sí mediante protocolo Lon-Works, también soportado por la CPU de la cual colgarán. Por tanto, ésta realizará la conversión de un protocolo de comunicaciones Lon-Works a protocolo CBus. Esta CPU también servirá para albergar los horarios de activación y desactivación de los controladores de los fancoils ya que éstos no presentan esta opción.

Sistema de comunicaciones.

El sistema de comunicaciones permite la integración del sistema de control en el SCADA a través de una red local LAN Ethernet. Para ello se utilizará una LAN exclusiva para el sistema de control facilitada e instalada por el cliente fuera de la Intranet del edificio.

La utilización de una red exclusiva permite una comunicación limpia y fluida debido al reducido tráfico de datos a través de ella. Al mismo tiempo establece una comunicación mucho más segura debido a que evita que personal del edificio, que no esté autorizado, pudiese acceder al sistema de control. Del mismo modo evita que usuarios de Internet pudiesen acceder a la red y sabotear el sistema de control, con los posibles daños que ello conllevaría debido a que esta red no cuenta con salida al exterior (Internet). Otra ventaja viene motivada por el hecho de la inexistencia de virus informáticos que podrían entrar a través de Internet y provocar una caída en el sistema de control o en el propio SCADA.



El sistema de comunicaciones propuesto es, a la vez que fiable y seguro, un sistema muy simple en cuanto a las partes que lo conforman. Se cuenta con un cableado de datos basado en una línea UTP de categoría 5, una interface de conversión de protocolos de comunicación y un switch de datos.

El C-Bus proveniente de los controladores se conectará a la interface de conversión, que se encargará de convertir la comunicación de protocolo C-Bus a protocolo TCP/IP transmisible a través de una red LAN.

La salida del conversor ya formará parte de la red LAN y se llevará hasta un switch de datos al cual se conectarán el resto de equipos de la red.

Sistema SCADA.

El sistema SCADA se conectará a la red LAN a través del switch de datos y dotará al usuario de una interface que le permitirá gestionar e interactuar con el sistema de control del edificio de una manera rápida y sencilla. A través de él se podrán controlar varias instalaciones independientemente de la distancia que exista entre ellas ofreciendo un entorno totalmente gráfico aprovechando todas las ventajas que ofrece.

El sistema SCADA está basado en una arquitectura Cliente-Servidor. Esto proporciona información en tiempo real a clientes como Estaciones de Operador.

Se instalará un servidor conectado al switch de datos (LAN) que comunicará con los controladores a través de la interface de conversión usando protocolo TCP/IP.

Se instalará una Estación de Operador (Cliente) que recibirá la información a través del servidor. Dicha estación se conectará a la red LAN a través del switch de datos y será a través de la cual el operador recibirá información del sistema de climatización y podrá actuar sobre él.

Se instalará una impresora (Cliente) que comunique a través de la red LAN mediante el switch de datos con el servidor a través de protocolo TCP/IP y que servirá para imprimir alarmas, informes y pantallas de la estación.

2.3 Listado de señales por CPU.

En el presente apartado se refleja el listado de las señales físicas que intervienen en cada uno de los sistemas a controlar, agrupándolas en función de los controladores que se encargarán de gestionarlas. Se reflejará el nombre de la señal, el tipo, y la posición que ocupa dentro del módulo de entradas/salidas.

CPU 1 (SALA DE CALDERAS)

Entradas Digitales (Tarjeta 1):

- Estado Caldera 1 (DI1)
- Estado Caldera 2 (DI2)
- Alarma General Caldera 1 (DI3)
- Alarma General Caldera 2 (DI4)
- Interruptor flujo entrada agua Caldera 1 (DI5)
- Interruptor flujo entrada agua Caldera 2 (DI6)
- Estado Bomba 1 Calor (DI7)
- Estado Bomba 2 Calor (DI8)
- Estado Bomba 3 Calor (DI9)

Salidas Digitales (Tarjeta 2):

- Marcha/paro Caldera 1 (DO1)
- Marcha/paro Caldera 2 (DO2)
- Marcha/paro Bomba 1 Calor (DO3)
- Marcha/paro Bomba 2 Calor (DO4)
- Marcha/paro Bomba 3 Calor (DO5)

Entradas Analógicas (Tarjeta 3):

- Nivel Gasoil Depósito 1 (AI1)
- Nivel Gasoil Depósito 2 (AI2)
- Temperatura salida agua Caldera 1 (AI3)
- Temperatura salida agua Caldera 3 (AI4)
- Temperatura colector impulsión calor (AI5)
- Presión colector impulsión calor (AI6)
- Temperatura colector retorno calor (AI7)
- Presión colector retorno calor (AI8)

CPU 2 (GRUPOS DE FRÍO)

Entradas Digitales (Tarjeta 1):

- Estado Grupo de Frío 1 (DI1)
- Estado Grupo de Frío 2 (DI2)
- Alarma General Grupo de Frío 1 (DI3)
- Alarma General Grupo de Frío 2 (DI4)
- Interruptor flujo entrada agua Grupo de Frío 1 (DI5)
- Interruptor flujo entrada agua Grupo de Frío 2 (DI6)
- Estado Bomba 1 Frío (DI7)
- Estado Bomba 2 Frío (DI8)
- Estado Bomba 3 Frío (DI9)

Salidas Digitales (Tarjeta 2):

- Marcha/paro Grupo de Frío 1 (DO1)
- Marcha/paro Grupo de Frío 2 (DO2)
- Marcha/paro Bomba 1 Frío (DO3)
- Marcha/paro Bomba 2 Frío (DO4)
- Marcha/paro Bomba 3 Frío (DO5)

Entradas Analógicas (Tarjeta 3):

- Temperatura salida agua Grupo de Frío 1 (AI1)
- Temperatura salida agua Grupo de Frío 2 (AI2)
- Temperatura colector impulsión frío (AI3)
- Presión colector impulsión frío (AI4)
- Temperatura colector retorno frío (AI5)
- Presión colector retorno frío (AI6)

CPU 3 (TORRES DE REFRIGERACIÓN)

Entradas Digitales (Tarjeta 1):

- Estado Ventilador Torre 1 (DI1)
- Estado Ventilador Torre 2 (DI2)
- Alarma Antihielo Torre 1 (DI3)
- Alarma Antihielo Torre 2 (DI4)
- Nivel Bajo Torre 1 (DI5)
- Nivel Bajo Torre 2 (DI6)
- Estado Bomba Condensación 1 (DI7)
- Estado Bomba Condensación 2 (DI8)
- Estado Bomba Condensación 3 (DI9)

Salidas Digitales (Tarjeta 2):

- Marcha/paro Bomba Condensación 1 (DO1)
- Marcha/paro Bomba Condensación 2 (DO2)
- Marcha/paro Bomba Condensación 3 (DO3)
- Marcha/paro Ventilador Torre 1 (DO4)
- Marcha/paro Ventilador Torre 2 (DO5)

Entradas Analógicas (Tarjeta 3):

- Temperatura Agua Entrada a Torre 1 (AI1)
- Temperatura Agua Entrada a Torre 2 (AI2)
- Temperatura Agua Salida de Torre 1 (AI3)
- Temperatura Agua Salida de Torre 2 (AI4)

CPU 4 (CLIMATIZADORES CL1 Y CL2)

Entradas Digitales (Tarjeta 1):

- Estado Ventilador de Impulsión CL1 (DI1)
- Estado Ventilador de Impulsión CL2 (DI2)
- Estado Ventilador de Retorno CL1 (DI3)
- Estado Ventilador de Retorno CL2 (DI4)
- Alarma Filtro Sucio CL1 (DI5)
- Alarma Filtro Sucio CL2 (DI6)
- Estado Humectador CL1 (DI7)
- Estado Humectador CL2 (DI8)

Salidas Digitales (Tarjeta 2):

- Marcha/paro Ventilador de Impulsión CL1 (DO1)
- Marcha/paro Ventilador de Impulsión CL2 (DO2)
- Marcha/paro Ventilador de Retorno CL1 (DO3)
- Marcha/paro Ventilador de Retorno CL2 (DO4)
- Marcha/paro Humectador CL1 (DO5)
- Marcha/paro Humectador CL2 (DO6)

Entradas Analógicas (Tarjeta 3):

- Temperatura Impulsión Aire CL1 (AI1)
- Temperatura Impulsión Aire CL2 (AI2)
- Humedad Impulsión Aire CL1 (AI3)
- Humedad Impulsión Aire CL2 (AI4)
- Presión Impulsión Aire CL1 (AI5)
- Presión Impulsión Aire CL2 (AI6)
- Temperatura Retorno Aire CL1 (AI7)
- Temperatura Retorno Aire CL2 (AI8)

Entradas Analógicas (Tarjeta 4):

- Humedad Retorno Aire CL1 (AI1)
- Humedad Retorno Aire CL2 (AI2)

Salidas Analógicas (Tarjeta 5):

- Regulación V3V Frío CL1 (AO1)
- Regulación V3V Frío CL2 (AO2)
- Regulación V3V Calor CL1 (AO3)
- Regulación V3V Calor CL2 (AO4)
- Regulación Humectador CL1 (AO5)
- Regulación Humectador CL2 (AO6)
- Regulación Compuertas CL1 (AO7)
- Regulación Compuertas CL2 (AO8)

Salidas Analógicas (Tarjeta 6):

- Regulación Variador CL1 (AO1)
- Regulación Variador CL2 (AO2)

2.4 Instalación eléctrica y cuadros de control.

A continuación se detallarán las especificaciones en cuanto a instalación eléctrica y cuadros de control y se detallarán los elementos de los que constan los cuadros de control, que serán los mismos para todos ellos ya que variarán exclusivamente en el número de tarjetas de entradas y salidas.

ESPECIFICACIONES INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La instalación eléctrica del sistema de control consta de tres apartados principales [8]:

- 1.- Alimentación/es de 220 Vac.
- 2.- Señales de interconexión de controladores con equipos de campo.
- 3.- Bus de comunicaciones entre controladores y con el Equipo Central.

Dependiendo de estos apartados las características eléctricas exigibles serán las siguientes.

1 Alimentación eléctrica

- La alimentación de 220V 50 Hz (F+N+Tierra) para los controladores y Equipo Central será dedicada y única, sin protección diferencial.

- Los cables serán serie de tensión 1000V del tipo flexible y con los colores reglamentarios; su sección será la adecuada en función de longitudes y consumos, para una caída de tensión inferior al 5%.

- Los cables tendrán una etiqueta identificadora en ambos extremos que relacionarán el equipo origen y el equipo destino.

- Si la instalación es bajo tubo, los cables de alimentación eléctrica irán en tubo separado de los cables para los elementos de control indicados mas adelante.

- Si la instalación es por bandeja, los cables de alimentación eléctrica pueden ir por la misma bandeja que los de los elementos de control si estos son apantallados; si no son apantallados, los cables de alimentación irán en bandejas dedicadas a estos fines e independientes de las bandejas dedicadas a los cables de los elementos de control.

- No se permiten bornas de derivación que no sean las existentes para este fin en los cuadros de alojamiento de los controladores o Equipo Central.

2 Elementos de control

Los cables para la interconexión de los controladores con los elementos de control (equipo de campo), serán:

- **ENTRADAS ANALOGICAS: Para todo elemento del cual se realice una lectura, tal como temperatura, humedad, presión, voltaje, corriente, etc.**, el cable será:

Manguera con las siguientes características:

- Conductores trenzados con un mínimo de 30 vueltas por metro.
- 2 ó 3 conductores de un solo hilo de cobre electrolítico de 0.5 mm^2 de sección mínima para un máximo de 400 m.
- Aislamiento PVC.
- Con o sin pantalla.
- Tensión de servicio de mínimo 700 V.
- Resistencia máxima por conductor de 22 Ohm/Km.

Cable trenzado tipo AK3702 /AK3703 registrado por Honeywell

- Diámetro interior del conductor de 1mm /18 AWG.
- Espesor de la capa de PVC de 0,38 mm.
- Espesor de la capa de Poliamida 0,1mm
- Diámetro exterior del conductor 2mm
- Vueltas por metro ≥ 30
- Color de los conductores:
 - AK3702 Amarillo-Marrón
 - AK3703 Amarillo-Azul-Rojo
- Resistencia eléctrica 22.5 Ohm/Km
- Capacitancia 74 +/- 4Pf/m

- Tensión de servicio 600 V
- Resistencia de aislamiento > 500 MOhm/300m a 500Vcc

Este tipo de señales se conectarán, en los controladores, en las bornas o en los Módulos dedicadas a **Entradas Analógicas**.

Con este tipo de cable se permite una distancia máxima de 200 m. entre el controlador y el elemento de campo.

- **ENTRADAS DIGITALES:** Para todo elemento del cual se lea el estado de un contacto (abierto/cerrado) libre de tensión, indicativo de una alarma, funcionamiento de un motor, etc. el cable será:

El mismo tipo que el indicado en el punto anterior.

En este caso estos cables se conectarán, en los controladores, en las bornas o en los Módulos dedicadas a **Entradas Digitales**.

Con ese tipo de cable se permite una distancia máxima de 200 m. entre el controlador y el elemento de campo.

- **SALIDAS DIGITALES:** Para todo elemento al que se envía una orden de posición sin puntos intermedios, tal como Abierto/Cerrado, Marcha/Parda, Día/Noche, etc., el cable será:

Tipo Pirepol de 2 x 1 mm² de sección mínima; ésta sección dependerá de la distancia, voltaje y consumo del elemento a actuar (relé, contactor, etc.)

Este tipo de señales se conectarán, en los controladores, o bien en las bornas o en los Módulos dedicadas a **Salidas Digitales**, o a relés preparados para esta función.

La conexión en bornas de relés o en las Salidas Digitales dependerá del tipo de controlador usado.

- **SALIDAS ANALOGICAS:** Para todo elemento al que se envía señales de posicionamiento con valores comprendidos entre 0 y 100% como actuadores de válvulas, compuertas, etc, el cable será:

El mismo tipo que el indicado en el punto relativo a entradas analógicas, dependiendo de la distancia según se indica más adelante.

Estas señales se conectarán, en los controladores, en las bornas o en los Módulos dedicadas a **Salidas Analógicas**.

La distancia máxima entre controlador y elemento de campo permitida con este tipo de cable, es de 50 m.; para mas de 100 m usar el mismo tipo de cable, pero con sección de 1,5 mm². Se puede llegar a distancias de hasta 400 m si el actuador está alimentado en su sitio y no toma alimentación desde el Cuadro de los controladores.

NOTAS:

1. Consultar las hojas de características de los elementos de campo para asegurarse del número de hilos a instalar, si precisan alimentación adicional, limitaciones, etc.
2. El conexionado tanto en las bornas del controlador como en las del elemento de campo o cuadro eléctrico permitirá alargar el cable como mínimo 15 cm mas allá de su obligado alojamiento.

INSTALACIÓN:

1. Los cables para las Entradas Analógicas, Entradas Digitales y Salidas Analógicas pueden ir bajo el mismo tubo, independientemente del resto de señales y alejado de cables de potencia.
2. Los cables para las Salidas Digitales irán en tubo separado de las señales anteriores, pudiendo ir bajo el tubo dedicado a las alimentaciones de 220 Vca.
3. Cuando con la Salida Digital se conmuten cargas no inductivas de poca potencia los conductores destinados a tal efecto podrán ir bajo el mismo tubo que las señales enumeradas en el apartado

3. Buses de comunicaciones

El cable para los Buses de comunicaciones será:

Manguera con las siguientes características

- Un par trenzado y apantallado.
- Conductores de cobre electrolítico
- Aislamiento exterior de PVC.
- Sección mínima de 0.5 mm²
- Resistencia inferior a 70 Ohm/Km.
- Capacitancia entre hilos inferior a 42 pF/m.
- Capacitancia ente hilos y pantallas inferior a 76 pF/m.
- Tensión de servicio mínima de 400 V
- Resistencia de aislamiento > de 500 MOhm/300m (a 500Vc.c.).
- Temperatura de servicio de 60°C.

La distancia máxima del Bus de comunicaciones será de 1200m.

Este cable irá bajo tubo dedicado y alejado de los cables de potencia.

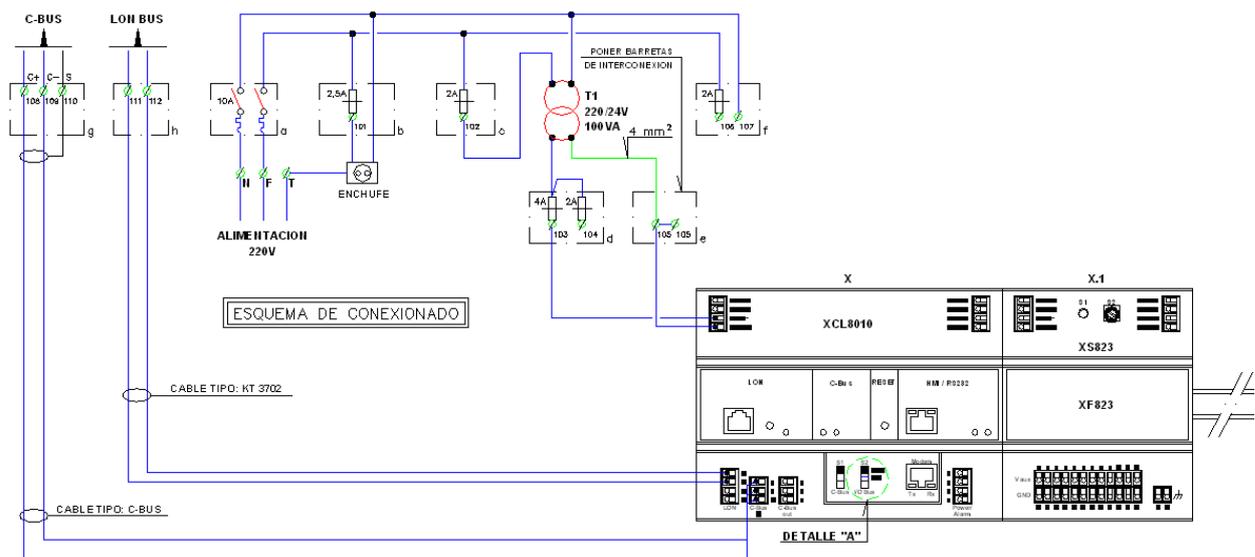
No se permite hacer derivaciones en el Bus: los cables han de ir desde bornas de un controladora al siguiente existiendo sólo un cable de llegada y uno de salida, salvo el último procesador, que tendrá un cable de llegada; allí acaba el bus, sin necesidad de vuelta al origen.

NOTAS GENERALES:

1.- Todos los cables mencionados aquí serán de pieza única, es decir sin empalmes, fácilmente identificables por color o números cuando haya mas de un conductor pareado o en manguera, y con marcas de identificación (anillas, etiquetas o numeradores específicos) a determinar, en ambos extremos.

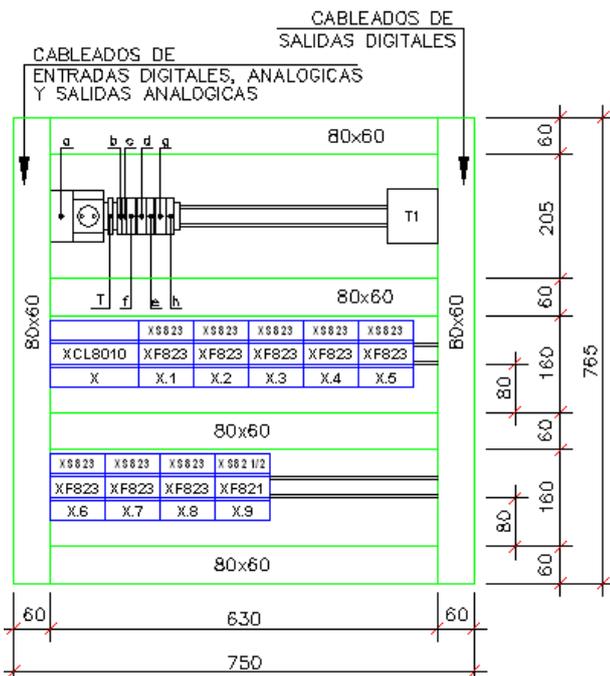
2.- El tipo de tubo o bandeja (PVC, acero, etc.) para estos cables se adaptará a las especificaciones del cliente y normativa [9].

A continuación se muestra un ejemplo de cuadro de control con sus elementos de protección y mando (Figura 2.4.1).



PLACA DE MONTAJE

Figura 2.4.1



Los cuadros de control se montarán en cuadros HIMEL de 800x800x200. Todos los cuadros dispondrán a la entrada de 220 Vac de un interruptor diferencial de 10A para proteger el cuadro y todos los dispositivos que cuelgan de él. Se instalará un enchufe protegido en su fase por un fusible de 2.5A y conectado a tierra. Se montará un trafo de 220/24Vac de 100VA para alimentar los controladores, tarjetas y equipos de campo que está protegido a su entrada por un fusible de 2A y a su salida por uno de 4A para los controladores y de 2A para los equipos de campo. El negativo del trafo se llevará a bornas sin protección. Los buses se conectarán directamente a bornas.

2.5 Memoria de funcionamiento detallada de la instalación.

En este apartado se explicará de forma detallada el funcionamiento en modo automático del sistema de climatización del edificio, atendiendo al funcionamiento individual de cada etapa y en conjunto con las demás y teniendo en cuenta la normativa vigente [10] y las necesidades del cliente.

SALA DE CALDERAS (PRODUCCIÓN DE CALOR).

Se establecerá un horario de producción de calor para el control de la sala de calderas y se tomará como referencia la temperatura exterior que determinará la petición de activación de calderas.

El proceso de producción de calor vendrá determinado por un horario modificable por el usuario conjuntamente con una sonda de temperatura instalada en el exterior y la sonda de temperatura instalada en el colector de retorno. Estando dentro del horario de producción de calor, el proceso se iniciará en el momento en que la temperatura exterior descienda por debajo de un valor modificable por el usuario y permanecerá activo hasta que la temperatura exterior supere dicho valor más un cierto valor de histéresis también modificable, o bien se desactive el horario de producción de agua caliente.

Estando dicho proceso activo el procedimiento será el siguiente:

- Primeramente se procederá a activar las bombas del colector de retorno de la sala de calderas. Para la activación de las bombas se creará un rotador para cada sala que funcionará de la siguiente manera: como mínimo siempre se activará una de las tres bombas y se dará la posibilidad de activar dos de las tres bombas cuando la medida de presión diferencial entre el colector de impulsión y retorno marque un valor inferior al introducido en un punto de consigna modificable por el usuario. Siempre se tendrá, como mínimo, una bomba parada que actuará como reserva en el caso de que estando funcionando las dos bombas, una de las otras dos falle (no se reciba confirmación de estado de alguna de ellas). Siempre que se inicie este proceso, se activarán primeramente las bombas que presenten un menor número de horas de funcionamiento. Si por algún motivo estas fallasen, se generará una alarma de disconformidad relativa a esa bomba y se activará alguna de las que en ese momento se encuentre en estado de reserva y presente menor número de horas de funcionamiento. En el momento en que se restablezca el funcionamiento de la bomba, que en ese instante debía haber entrado, se desactivará la bomba que está funcionando como reserva, permaneciendo esta parada hasta que se produzca de nuevo una avería en alguna de las otras dos o éstas superen en horas de funcionamiento a la de reserva.

- Una vez activadas las bombas correspondientes se hará recircular el agua durante un período de tiempo mínimo antes de proceder a la activación de las calderas que correspondan. Para la activación de las calderas se procederá de la siguiente manera: se creará un acceso donde el usuario indicará al sistema que caldera de las dos existentes en cada sala quiere que se active cuando entre el proceso de producción de calor, quedando la otra en estado de reserva. Si por algún motivo no entrase la caldera designada como activa por el usuario (no se reciba confirmación de estado), se generará una alarma de disconformidad y se arrancará automáticamente la caldera de esa sala que en ese momento se encuentra en estado de reserva. Cuando se restablezca el funcionamiento de la caldera designada como activa se desactivará automáticamente la caldera designada como reserva.
- En el caso de que la demanda de agua caliente sea muy elevada, dato que se obtendrá de la lectura de la sonda de temperatura del colector de retorno en conjunto con un punto de consigna de temperatura de retorno modificable por el usuario, se procederá a activar la otra caldera para que ambas trabajen de forma simultánea. Las dos calderas permanecerán activadas simultáneamente hasta que la temperatura en el colector de retorno supere al valor introducido por el usuario más un valor de histéresis.

Cuando el proceso de producción de calor se desactive, se procederá de la siguiente manera:

- El proceso será al contrario que el llevado a cabo en la activación de esta señal. Primeramente se pararán las calderas y tras un retardo que servirá para hacer recircular el agua a través de la instalación, se pararán las bombas del colector de retorno de sala de calderas, permaneciendo tanto estas como las calderas paradas hasta que se produzca una nueva activación de la señal.

Como medida de seguridad se establece lo siguiente: en caso de que ninguna de las tres bombas existentes se encuentre activa no se podrá encender ninguna de las calderas. En caso de que estando funcionando bombas y calderas se produzca un fallo en las tres bombas, las calderas se apagarán de manera inmediata. En ningún caso habrá alguna caldera activa estando paradas todas las bombas del colector de retorno. De igual modo se procederá al apagado instantáneo de la caldera de la cual se reciba una alarma a través de su contacto libre de tensión instalado para dicho fin, o el detector de flujo instalado en su tubería de entrada de agua indique la ausencia del paso de ésta.

El control del combustible en los depósitos se realiza a través de un sensor que indicará en cada momento el volumen total de combustible en cada uno de los depósitos y en caso de que éste indique un valor inferior al introducido por el usuario se generará una alarma en el sistema SCADA.

SALA DE MÁQUINAS (PRODUCCIÓN DE FRÍO).

La producción de frío vendrá determinada por un horario modificable por el usuario conjuntamente con una sonda de temperatura instalada en el exterior y la sonda de temperatura instalada en el colector de retorno. Estando dentro del horario de producción de frío y la sonda de temperatura exterior marcando un valor superior al introducido por el usuario se procederá a la activación del proceso de producción de frío y permaneciendo activo hasta que la temperatura exterior descienda por debajo de dicho valor más una histéresis modificable, o bien se desactive el horario de producción de agua fría.

Estando dicho proceso activo el procedimiento será el siguiente:

- Primeramente se procederá a activar las bombas. Para la activación de las bombas se creará un rotador que funcionará de la siguiente manera: como mínimo siempre se activará una de las tres bombas y se dará la posibilidad de activar dos de las tres bombas cuando la medida de presión diferencial entre el colector de impulsión y retorno marque un valor inferior al introducido en un punto de consigna que se creará. Siempre se tendrá, como mínimo, una bomba parada que funcionará como reserva en caso de que una de las otras dos falle (no se reciba estado de confirmación de alguna de ellas). Siempre que se inicie este proceso, se activarán primeramente las bombas que presenten un menor número de horas de funcionamiento, si por algún motivo estas fallasen, se generará una alarma de disconformidad relativa a esa bomba y se activará alguna de las que en ese momento se encuentre en estado de reserva y presente menor número de horas de funcionamiento. En el momento en que se restablezca el funcionamiento de la bomba, que en ese instante debía haber entrado, se desactivará la bomba que está funcionando como reserva.

- Una vez activadas las bombas correspondientes se hará recircular el agua durante un período de tiempo mínimo antes de proceder a la activación de los grupos de frío que correspondan. Para la activación de los grupos se procederá de la siguiente manera: se creará un acceso donde el usuario indicará al sistema que grupo de los dos existentes quiere que se active cuando entre el proceso de producción de frío, quedando el otro en estado de reserva. Si por algún motivo no entrase el grupo designado como activo por el usuario, se generará una alarma de disconformidad y se arrancará automáticamente el grupo de esa sala que en ese momento se encuentra en estado de reserva. Cuando se restablezca el funcionamiento del grupo designado como activo se desactivará automáticamente el grupo designado como reserva.

- En el caso de que la demanda de agua fría sea muy elevada, se procederá a activar los dos grupos de frío de manera simultánea. Para ello, la sonda de temperatura del colector de retorno de la sala de máquinas debe marcar un valor superior al introducido en un punto de consigna que se creará y que será modificable por el usuario. Los dos grupos trabajarán de forma simultánea hasta que la temperatura del colector de retorno descienda por debajo del punto de consigna más un valor de histéresis modificable.

Cuando el proceso de producción de frío se desactive se procederá de la siguiente manera:

- El proceso será al contrario que el llevado a cabo en la activación de esta señal. Primeramente se pararán los grupos y tras un retardo que servirá para hacer recircular el agua a través de la instalación, se pararán las bombas, permaneciendo tanto estas como los grupos parados hasta que se produzca una nueva activación del horario.

Como medida de seguridad se establece lo siguiente: en caso de que ninguna de las tres bombas existentes se encuentre activa no se podrá encender ninguno de los grupos de frío. En caso de que estando funcionando bombas y grupos se produzca un fallo en las tres bombas, los grupos se apagarán de manera inmediata. En ningún caso habrá ningún grupo funcionando si están las tres bombas del colector de retorno paradas. De igual modo se apagará de forma automática e instantánea el grupo del cual se reciba una alarma procedente del contacto libre de tensión instalado para dicho fin o no se reciba confirmación de flujo de agua a la entrada del mismo.

TORRES DE CONDENSACIÓN (CTO. DE REFRIGERACIÓN).

Cada una de las dos torres está asociada al funcionamiento de uno de los grupos de frío. El proceso de refrigeración se activará en el momento en el que se reciba estado de confirmación de funcionamiento de alguno de los dos grupos y permanecerá activo hasta que el proceso de producción de frío se desactive y transcurrido un período de tiempo modificable por el usuario y que servirá para hacer recircular el agua ya enfriada y conseguir un enfriamiento total del grupo.

Una vez activado el proceso de refrigeración, el procedimiento será el siguiente:

- Primeramente se procederá a activar la bomba o bombas correspondientes. Hay una bomba asociada a cada torre y por consiguiente, a cada grupo de frío. La bomba 1 está asociada al funcionamiento del grupo y torre 1, la bomba 3 está asociada al funcionamiento del grupo y torre 2, quedando la bomba 2 en estado de reserva. Estando funcionando uno de los grupos, se activará la bomba correspondiente a ese grupo, y en caso de que ésta falle (no exista confirmación de estado), se generará una alarma de disconformidad y se arrancará la bomba 2 de reserva hasta que se produzca el restablecimiento de la bomba correspondiente al grupo que está funcionando.
- El simple funcionamiento de las bombas ya garantiza cierta refrigeración del agua mediante su pulverización a través de las duchas de las torres. En caso de que esta refrigeración no sea suficiente, dato que se obtendrá mediante la sonda de temperatura instalada en la salida de las torres y el valor introducido por el usuario. En caso de que la temperatura supere dicho valor se activará el ventilador correspondiente a esa torre y que favorecerá la refrigeración del agua hasta que ésta descienda por debajo del punto de consigna más un valor de histéresis modificable.
- En el caso de que se reciba el estado de alarma de hielo o nivel de torre se generará una alarma en el sistema SCADA.

CLIMATIZADORES (TRATAMIENTO DE AIRE).

Los dos climatizadores constan de los mismos elementos y su funcionamiento es exactamente el mismo.

Constan, tanto en la impulsión como en el retorno, de un ventilador del que se recogen las señales de marcha/paro y estado de funcionamiento así como una alarma de disconformidad que avisa de una posible incongruencia entre la señal de estado y marcha/paro. Siguiendo en la impulsión, se ha instalado una sonda de temperatura de conducto que refleja la temperatura a la que se está impulsando el aire y que es de carácter puramente informativo y un humectador con regulación del cual se recoge dicha señal, la de marcha/parada y el estado. En el retorno, cabe destacar la instalación de dos sondas de conducto, las cuales una de ellas muestra la temperatura y la otra la humedad del aire de retorno.

Estos climatizadores funcionan a cuatro tubos, es decir, cuentan con dos baterías, una de frío y otra de calor, cada una de ellas con su correspondiente válvula de tres vías y su actuador.

Los climatizadores cuentan con un filtro de aire del que se recoge una alarma de filtro sucio y tres compuertas motorizadas, una en el conducto de retorno y cara al exterior, otra en el conducto de impulsión, también cara al exterior y la de mezcla, las cuales funcionan de manera complementaria como se explicará más adelante.

Para controlar el proceso de freecooling se ha instalado una sonda de temperatura exterior situada al lado de la compuerta exterior de impulsión de los climatizadores.

El funcionamiento de los climatizadores está enclavado a un horario (independiente para cada climatizador). Estando dicho horario activo, el climatizador arrancará los ventiladores e iniciará los procesos de regulación que controla. Se distinguen tres lazos principales de regulación: temperatura, presión y humedad.

Regulación de temperatura.

Los climatizadores llevan a cabo la regulación de la temperatura a través de la temperatura del aire de retorno de la instalación.

En el lazo de regulación de la temperatura intervienen la sonda de conducto de temperatura de retorno, el actuador de la válvula de tres vías de cada una de las baterías, las tres compuertas motorizadas y un punto de consigna de temperatura de retorno modificable por el usuario así como la sonda de temperatura exterior. La interacción entre estas señales se detalla a continuación:

Se programará un regulador PID enclavado con el estado de funcionamiento del ventilador de impulsión, es decir, éste solo realizará sus cálculos cuando el ventilador esté en marcha, y se encarga de calcular la desviación entre la temperatura de retorno del aire y el punto de consigna de temperatura introducido por el usuario. El PID entregará una señal porcentual que reflejará la desviación entre ambas señales y que servirá para actuar sobre las válvulas de las baterías y las compuertas motorizadas. El ventilador de retorno se activará automáticamente al recibir el estado del ventilador de impulsión.

Cuando la temperatura de retorno sea inferior al punto de consigna se considerará que el climatizador necesita impulsar calor por lo que se actuará sobre la válvula de la batería de calor abriéndola de forma gradual según indique la desviación entre ambas señales. En este caso la válvula de la batería de frío permanecerá totalmente cerrada y la compuerta exterior en la posición de apertura mínima de renovación de aire modificable por el usuario.

Si por el contrario la temperatura de retorno es superior al punto de consigna se considerará que el climatizador necesita impulsar frío. Los climatizadores cuentan con sistema de **FREECOOLING** por lo que en el caso de necesitar frío, el climatizador intentará suministrarlo, si puede, a través de freecooling. Para poder utilizar este tipo de refrigeración se comparará la temperatura exterior con la temperatura del aire de retorno

del climatizador en cuestión y en caso de ser ésta más alta que la temperatura exterior se procederá a la apertura de las compuertas exteriores para expulsar el aire de retorno y coger aire mas frío del exterior, manteniendo la compuerta de mezcla cerrada. En caso de que esta condición no se cumpliera, no se podría refrigerar mediante freecooling, por lo que se mantendría la compuerta exterior en la apertura mínima (modificable por el usuario) de renovación de aire. En caso de no ser posible la refrigeración por freecooling o que la demanda de frío sea muy elevada, caso en que esté activado el proceso de freecooling con compuertas exteriores abiertas al 100%, se procederá a la apertura de la válvula de la batería de frío de forma gradual según marque dicha desviación, manteniéndose en todos estos casos cerrada totalmente la válvula de la batería de calor.

Es importante destacar que las compuertas exteriores y la de retorno funcionan con la misma señal de forma complementaria, es decir, si las compuertas exteriores están abiertas al 100%, la compuerta de mezcla estará cerrada completamente.

Regulación de humedad.

La regulación de humedad de cada uno de los climatizadores se realiza mediante la humedad del aire de retorno del climatizador.

En el lazo de regulación de la humedad intervienen la temperatura de retorno, la señal de regulación de aporte de humedad del humectador, la marcha/parada y estado del humectador y un punto de consigna de humedad de retorno modificable por el usuario, la interacción entre estas señales se detalla a continuación:

Se programará un regulador PID enclavado con el estado de funcionamiento del ventilador de impulsión, es decir, éste solo realizará sus cálculos cuando el ventilador esté en marcha, y se encarga de calcular la desviación entre la humedad de retorno y el punto de consigna de humedad de retorno introducido por el usuario. El PID entregará una señal porcentual que reflejará la desviación entre ambas señales y que servirá para actuar sobre la señal de regulación de aporte de humedad del humectador y su marcha/parada.

Cuando la humedad de retorno sea inferior al punto de consigna se considerará que el climatizador necesita aportar humedad por lo que se actuará sobre la orden de marcha del humectador y sobre la señal de regulación de aporte de humedad del humectador aumentando dicho aporte de forma gradual según indique la desviación entre ambas señales.

Si por el contrario la humedad de retorno es superior al punto de consigna se considerará que el climatizador no necesita aportar mas humedad, por lo que la orden de marcha/parada del humectador estará en OFF y la señal de aporte de humedad estará al 0%. Se programará una histéresis modificable por el usuario mediante la cual el

humectador no parará de aportar humedad hasta que ésta haya superado en dicho valor al punto de consigna introducido.

Funcionamiento del sistema antihielo.

Se ha programado una función de antihielo para evitar posibles congelaciones del agua, sobre todo en las baterías de frío y calor cuando el climatizador se encuentre apagado. Su funcionamiento es el siguiente: se ha creado un punto de consigna de antihielo para que en el caso de que la temperatura exterior se encuentre por debajo de este punto de consigna se active el sistema antihielo. Este sistema provoca la apertura de las válvulas de las baterías de frío y calor a un valor del 20% para que el agua pueda fluir a través de ellas y no se produzca la congelación de esta. Se ha programado una histéresis de 3°C, es decir, una vez saltada la alarma antihielo, se abrirá la válvula y no se cerrará hasta que la temperatura exterior haya subido 3°C por encima del punto de consigna antihielo.

Regulación de presión.

La regulación de presión se realiza a través de la presión de impulsión del climatizador.

En el lazo de regulación de presión intervienen la sonda de presión instalada en el conducto de impulsión del climatizador, el variador de frecuencia y un punto de consigna de presión de impulsión modificable por el usuario. La interacción entre estas señales se detalla a continuación:

Se programará un regulador PID enclavado con el estado de funcionamiento del ventilador de impulsión, es decir, éste solo realizará sus cálculos cuando el ventilador esté en marcha, y se encargará de calcular la desviación entre la presión de impulsión y el punto de consigna de presión introducido por el usuario. El PID entregará una señal porcentual que reflejará la desviación entre ambas señales y que servirá para actuar sobre la señal de regulación del variador.

Cuando la presión de impulsión sea inferior al punto de consigna se considerará que el ventilador necesita girar más rápido por lo que se actuará sobre la señal de regulación del variador aumentando la velocidad del ventilador de forma gradual según indique la desviación entre ambas señales.

Si por el contrario, la presión de impulsión es superior al punto de consigna se considerará que el ventilador necesita girar más despacio por lo que se actuará sobre la señal de regulación del variador disminuyendo la velocidad del ventilador de forma gradual según indique la desviación entre ambas señales.

Se programarán alarmas de disconformidad para determinar incongruencias entre el marcha/paro y estado de humectador y ventiladores.

El presostato del filtro generará una alarma en el sistema SCADA cuando sea preciso cambiarlo por suciedad.

FANCOILS (TRATAMIENTO DE AIRE).

Es importante comentar que la instalación para todos los fancoils está hecha a cuatro tubos, es decir hay dos baterías para cada fancoil, una de frío y otra de calor y el funcionamiento para todos ellos es exactamente el mismo.

Cada fancoil es controlado de forma independiente y presenta una serie de señales independientes al resto de fancoils tales como la lectura de la temperatura ambiente de su zona de influencia, la regulación de las válvulas de las baterías, el punto de consigna de temperatura ambiente, el marcha/paro, la velocidad del ventilador y el modo de funcionamiento (Frío/Calor/Auto).

Estos equipos tienen programado un lazo de regulación de la temperatura mediante un PID, similar al utilizado en el lazo de control de los climatizadores, que calcula la desviación entre la temperatura ambiente y el punto de consigna y en función de esta y del modo de funcionamiento en que se encuentren (Frío/Calor/Auto) actuarán sobre las válvulas de las baterías y la velocidad del ventilador.

Estando en modo Calor:

Estando en modo calor se está considerando que solo llega agua caliente a la batería de calor.

Si la temperatura ambiente del fancoil se encuentra por debajo del punto de consigna, se producirá una apertura gradual de la válvula de la batería de calor según la desviación existente entre ambas señales manteniéndose en todo momento la válvula de la batería de frío cerrada. La velocidad del ventilador dependerá de la desviación entre punto de consigna y temperatura ambiente.

Si por el contrario, la temperatura ambiente está por encima del punto de consigna se producirá un cierre total de la válvula de la batería de calor al mismo tiempo que no se producirá ninguna actuación sobre la válvula de la batería de frío, esta permanecerá cerrada. En este caso la velocidad del ventilador se encontrará en la posición mínima.

Estando en modo Frío:

Estando en modo frío se está considerando que solo llega agua fría a la batería de frío.

Si la temperatura ambiente del fancoil se encuentra por encima del punto de consigna, se producirá una apertura gradual de la válvula de la batería de frío según la desviación existente entre ambas señales manteniéndose en todo momento la válvula de la batería de calor cerrada. La velocidad del ventilador dependerá de la desviación entre punto de consigna y temperatura ambiente.

Si por el contrario, la temperatura ambiente está por debajo del punto de consigna se producirá un cierre total de la válvula de la batería de frío al mismo tiempo que no se producirá ninguna actuación sobre la válvula de la batería de calor, esta permanecerá cerrada. En este caso la velocidad del ventilador se encontrará en la posición mínima.

Estando en modo Auto:

Estando en modo auto se está considerando que llega tanto agua fría a la batería de frío como agua caliente a la batería de calor.

Si la temperatura ambiente del fancoil se encuentra por encima del punto de consigna, se producirá una apertura gradual de la válvula de la batería de frío según la desviación existente entre ambas señales manteniéndose en todo momento la válvula de la batería de calor cerrada. La velocidad del ventilador dependerá de la desviación entre punto de consigna y temperatura ambiente.

Si por el contrario, la temperatura ambiente del fancoil se encuentra por debajo del punto de consigna, se producirá una apertura gradual de la válvula de la batería de calor según la desviación existente entre ambas señales manteniéndose en todo momento la válvula de la batería de frío cerrada. La velocidad del ventilador dependerá de la desviación entre punto de consigna y temperatura ambiente.

En ningún caso permanecerán abiertas al mismo tiempo válvulas de batería de frío y calor de un mismo fancoil.

Consideraciones especiales:

Se programará un horario general que afecta a todos los controladores de los fancoils por zonas. Estando esta señal a ON, se indica a los controladores que se encuentran en horario de ocupación, luego estos trabajarán en función de la temperatura ambiente, el punto de consigna y el modo de funcionamiento, según se ha explicado en los apartados anteriores. Si por el contrario, esta señal se encuentra en OFF, se indicará a los controladores que se encuentran en horario de no ocupación lo que dará como resultado el cierre de todas las válvulas de las baterías de los fancoils y la parada de los ventiladores.



3

ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES. Elección de controladores.

Para la gestión y control de las señales provenientes del sistema físico, tales como las señales de los elementos propios de la sala de máquinas, sala de calderas, torres de refrigeración, climatizadores y fancoils se ha optado por la elección de una serie de controladores (PLCs) de la marca Honeywell específicamente diseñados para el control de sistemas de climatización, alumbrado, control de accesos y en definitiva, gestión integral de edificios.

Al utilizar los controladores de esta marca, es muy conveniente que el resto de equipos: tarjetas de entradas/salidas, sensores, actuadores, equipos de comunicación y sistema SCADA sean de la misma marca, lo que garantiza un perfecto entendimiento y una fluida comunicación entre ellos, todo ello sujeto a que son equipos específicamente diseñados para el control de la climatización de edificios, por lo que todos los equipos que se utilizarán serán de la marca Honeywell.

Se dispone de tres tipos distintos de controladores que pueden utilizarse para tal fin, todos ellos de la familia EXCEL 5000. Se estudiarán las características funcionales de cada uno de ellos y se elegirá el más óptimo para cada caso.

EXCEL 50

El controlador Excel 50 es un PLC de la familia Excel 5000 [11] diseñado especialmente para la gestión de sistemas de climatización, aunque su versatilidad permite controlar cualquier otro tipo de sistema gracias a sus módulos de entradas/salidas (Figura 3.1.1).



Figura 3.1.1

Este controlador presenta una característica que le hace único entre los de su familia y es que cuenta con una pantalla LCD de cuatro líneas con 16 caracteres por línea y 8 teclas de función que permiten al usuario acceder a ciertas funciones de programación tales como la modificación de horarios y visualización y actuación sobre las señales que gobierna sin la necesidad de tener que conectarse a él a través de un PC, lo que agiliza su operabilidad para ciertas funciones básicas.

Cuenta con una memoria EPROM de 64 KB, una memoria RAM de 256 KB y una Flash EPROM de 1 MB para albergar tanto el firmware del controlador como la aplicación propia de programación.

Es capaz de comunicarse con otros controladores (un máximo de 30 controladores por bus) y con el SCADA utilizando dos tipos de buses y protocolos de comunicación distintos:

- C-bus: El C-bus es un protocolo de comunicación cerrado propiedad de Honeywell que solo permite comunicación entre equipos de esta marca. La velocidad de transmisión para este bus va de los 9,6 Kbaud a los 76,8 Kbaud. La longitud máxima del bus es de 1200m.
- LON-Bus: El LON-bus es un protocolo de comunicaciones abierto de carácter universal y estandarizado que permite comunicar entre sí equipos de distintas marcas y fabricantes, incluidos los equipos de la marca Honeywell. La velocidad de transmisión para LON-Bus es de 78 Kbaud. La longitud máxima del bus es de 2200m.

La conexión de estos buses con el controlador Excel 50 se realiza a través de su módulo de comunicaciones incorporado en la propia carcasa del controlador (Figura 3.1.2).

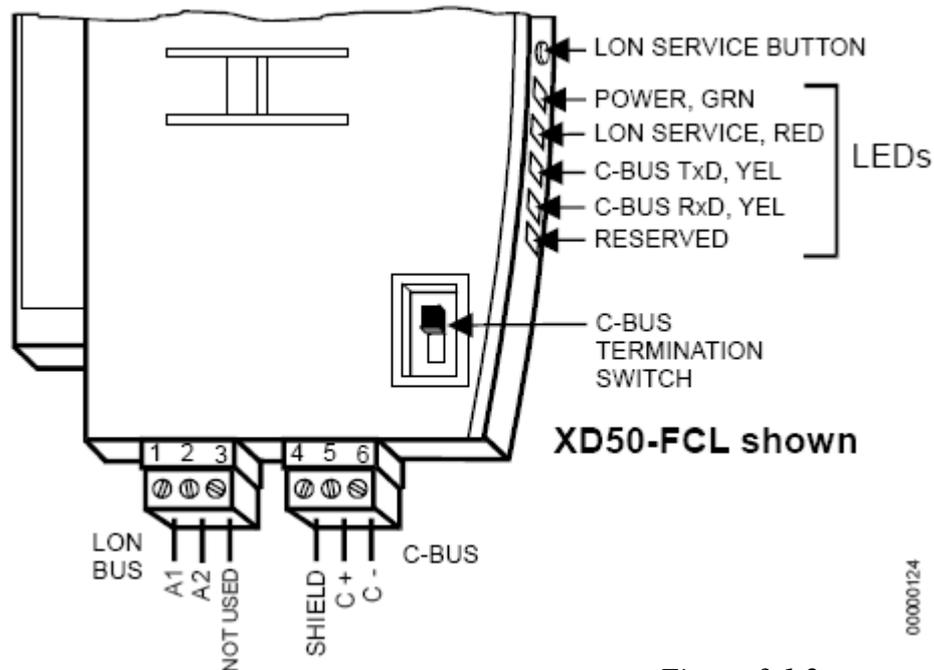


Figura 3.1.2

El Excel 50 funciona con alimentación de 24V de corriente alterna y tiene un consumo máximo de 10VA. Cuenta con una ventaja, en caso de que se produzca un fallo en la alimentación sus condensadores son capaces de salvar la memoria RAM y guardar el tiempo real del reloj interno durante 72 horas.

El Excel 50 presenta integrados junto con la CPU sus módulos de entradas y salidas, luego el número de señales que es capaz de gestionar está limitado. Cuenta con un total de **ocho entradas analógicas** que pueden ser de tres tipos: señales de tensión de 0 a 10 V de corriente continua, señales de corriente de 4 a 20 mA previa instalación de resistencia de 500 ohmios a la entrada de la señal en el controlador o sensores NTC 20K. **Cuatro entradas digitales** con un valor máximo de tensión de 24VdC, en las cuales se toma como valor lógico de “0” las tensiones menores o iguales a 2,5VdC y como valor lógico de “1” las tensiones mayores o iguales a 5VdC. **Cuatro salidas analógicas** que dan un valor de tensión de 0-10 VdC. Por último cuenta con un total de **seis salidas digitales** de 24Vac.

Otra ventaja con la que cuenta este controlador es que el bloque de conexiones de las señales se puede extraer de su propia carcasa para facilitar las operaciones de cableado y sustitución de controladores (Figura 3.1.3).

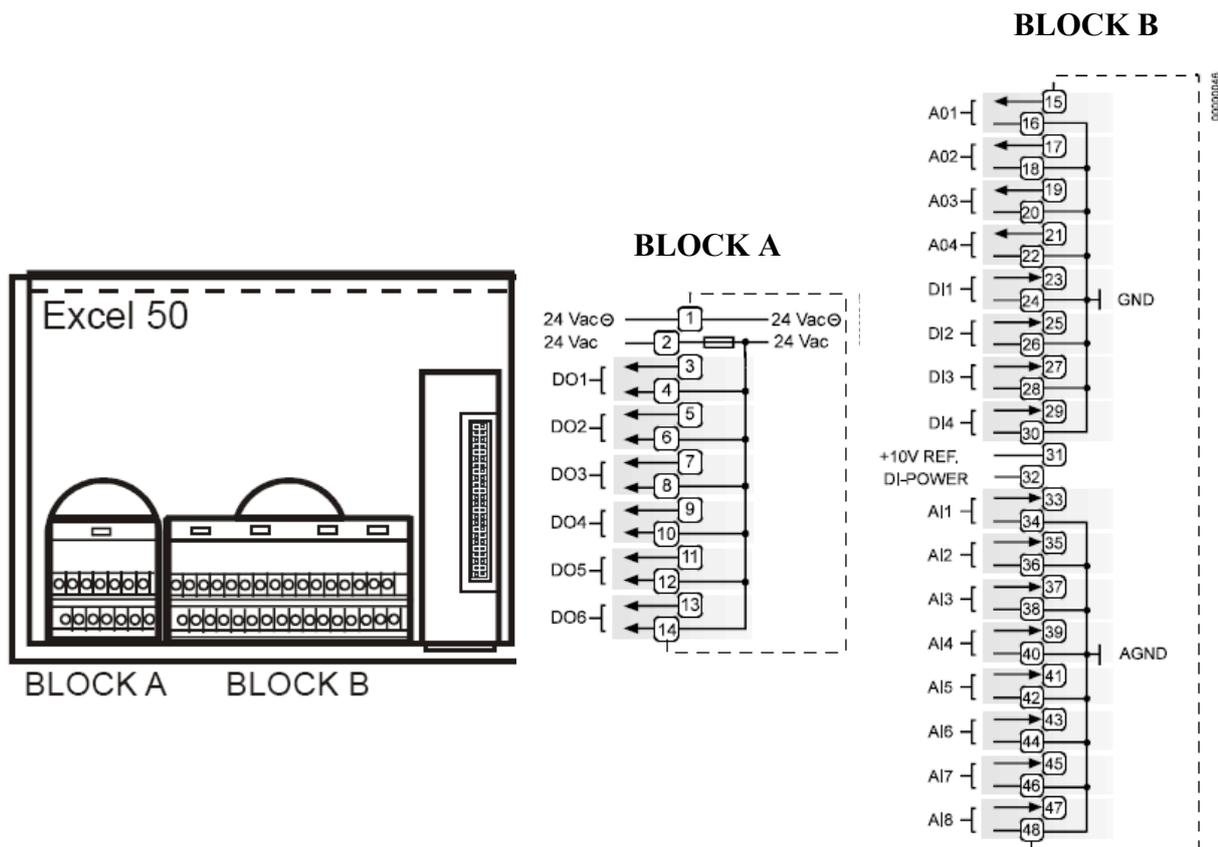


Figura 3.1.3

EXCEL 500

El Excel 500 es un sistema de control programable diseñado para el control de edificios [12]. Está particularmente enfocado al control de edificios de medio tamaño, tales como colegios, hoteles, oficinas, centros comerciales y hospitales, mediante tecnología digital.

Además de aplicaciones de calor, ventilación y aire acondicionado, puede abordar una amplia gama de funciones de ahorro energético, incluyendo parada/arranque óptimo, purga nocturna y cálculo de demanda. Se pueden conectar hasta 4 Centrales de supervisión conectadas al bus.

Se puede conectar un módem o adaptador directamente al XCL500 para comunicación remota a través de red telefónica. Existe un puerto serie con conector de 9-pin Sub-D RS232, para conectar una pantalla externa o un módem para transmisión 38.4 Kbps.

Su diseño modular facilita progresivas ampliaciones (Figura 3.1.4). Los datos de las direcciones de usuario y los descriptores se almacenan en el controlador, y por tanto se pueden ver de forma local por el operador sin necesidad de un PC. Carece de pantalla LCD por lo que se precisa de un programa de visualización de datos.

Cuenta con una memoria EPROM de 64 KB, una memoria RAM de 256 KB y una Flash EPROM de 1 MB para albergar tanto el firmware del controlador como la aplicación propia de programación.

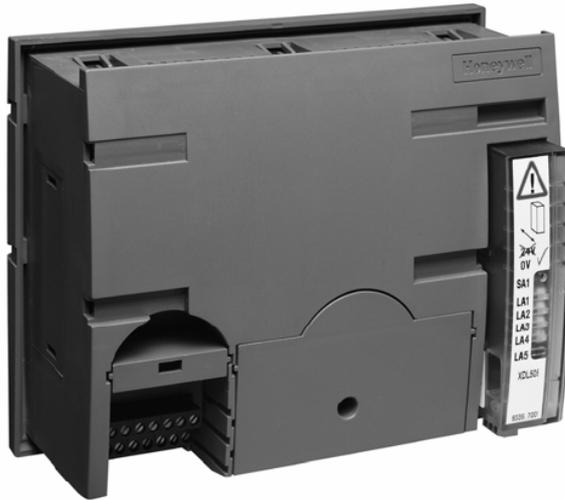


Figura 3.1.4

Es capaz de comunicarse con otros controladores (un máximo de 30 controladores por bus) y con el SCADA utilizando dos tipos de buses y protocolos de comunicación distintos:

- Mediante C-Bus es capaz de comunicarse con 16 tarjetas de entradas/salidas a través de direccionamiento hexadecimal, denominadas tarjetas de panel, lo que significa que éstas deben localizarse próximas a la CPU.
- Mediante Lon-Bus es capaz de comunicarse con 16 tarjetas de entradas/salidas distribuidas lo que permite que éstas se encuentren en otra parte del edificio distinta a dónde se encuentra la CPU. Este tipo de bus utiliza únicamente dos hilos.

La comunicación, para ambos buses, se realiza a través del módulo de comunicaciones que incorpora el propio controlador y los módulos de cabecera de tarjetas que permiten también la unión física entre ellas (véase Fig. 3.1.2).

El Excel 500 funciona con alimentación de 24 V de corriente alterna y tiene un consumo máximo de 5 VA (la mitad que su predecesor, el Excel 50). Presenta una batería de condensadores que le permite salvar la memoria RAM y guardar el tiempo real del reloj interno durante 72 horas. Todas las entradas y salidas están protegidas contra sobretensión de 24 Vac y 40 Vdc y contra cortocircuito.

Es capaz de gestionar hasta 16 módulos de entradas/salidas, ya sean de tipo panel o distribuidos y teniendo en cuenta que la capacidad de gestión del controlador es de 128 puntos físicos más 256 pseudo puntos. Estas tarjetas pueden ser de entradas o salidas analógicas y digitales.

A diferencia que su predecesor, este controlador no presenta módulos de entradas/salidas integradas en su carcasa, por lo que todas ellas deben ser gestionadas a través de las tarjetas de panel o distribuidas (Figura 3.1.5).

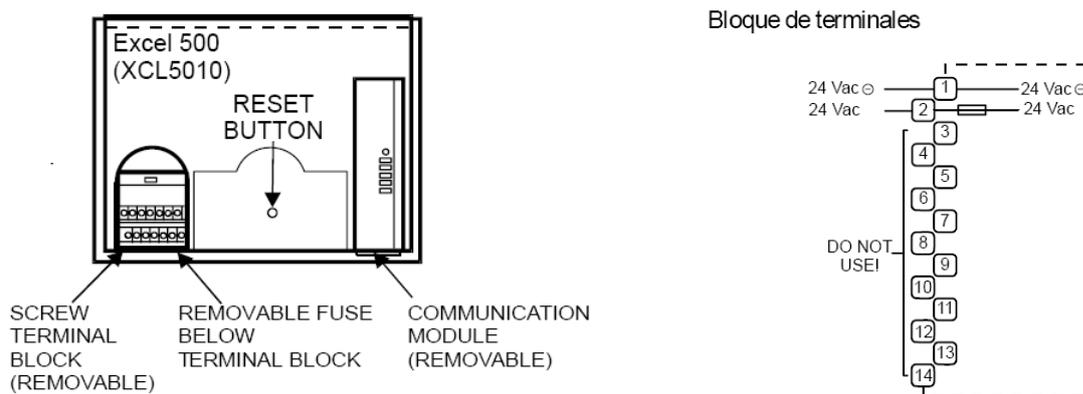


Figura 3.1.5

EXCEL 800

El Excel 800 perteneciente a la familia de controladores Excel 5000 (consistente en el controlador más los módulos de E/S de Panel Bus o los de LONWORKS) permite libre programación para aplicaciones de control de calefacción, ventilación y aire acondicionado [13]. Lleva a cabo un amplio rango de funciones de gestión de energía que incluye optimizaciones de arranque/parada, purga nocturna y máxima carga de demanda. El diseño modular del Excel 800 permite expandir el sistema en posibles ampliaciones de forma sencilla (Figura 3.1.6).

El Excel 800 opera vía "plug & play" en su versión de módulos de E/S Panel Bus, permitiendo ventajas de instalación y ahorro de costes de comisionado gracias al bus propio. También puede operar con módulos de E/S LONWORKS con comunicación LONWORKS estándar.

Los módulos de ES combinados Panel Bus consisten en un bloque de terminales con un módulo electrónico integrado. Los módulos no combinados de Panel Bus (XF82x) o LONWORKS Bus (XFL82x) I/O consisten en un bloque de terminales y un módulo electrónico enchufable sobre el anterior, lo que permite montar el bloque de terminales y efectuar el cableado antes de enchufar el módulo electrónico. Todos los

módulos electrónicos se pueden cambiar sin interrumpir la alimentación y las conexiones de bus. Las actualizaciones de software, la configuración y el comisionado se hacen todas automáticamente en el caso de los módulos de Panel Bus. La configuración LONWORKS estándar permite la integración de controladores de terceros y comunicación con otros dispositivos de Honeywell. El servicio remoto se puede hacer vía módem/adaptador ISDN conectado a un supervisor.



Figura 3.1.6

Cuenta con una memoria EPROM de 128 KB, una memoria RAM de 512 KB y una Flash EPROM de 2 MB para albergar tanto el firmware del controlador como la aplicación propia de programación, por lo que duplica su memoria con respecto a sus predecesores, lo que permite mayor flexibilidad de diseño y control para aplicaciones más complejas. Cuenta con un microprocesador de 16 bits (TMP91 CY22) de 22MHz.

El Excel 800 funciona con alimentación de 24 V de corriente alterna o 21...30 V de corriente continua y tiene un consumo máximo de 5 VA (la mitad que su predecesor, el Excel 50). Presenta una batería de condensadores que le permite salvar la memoria RAM y guardar el tiempo real del reloj interno durante 72 horas. Todas las entradas y salidas están protegidas contra sobretensión de 24 Vac y 40 Vdc y contra cortocircuito.

El controlador XCL800 puede comunicar con una gran variedad de dispositivos, incluyendo cualquier combinación de hasta 16 Módulos de E/S Panel/Bus y/o dispositivos LONWORKS.

Se permite un máximo de 381 puntos, tanto físicos como pseudos y puntos propios de sistema. Típicamente, las aplicaciones de HVAC requieren un número igual de puntos virtuales internos que puntos físicos haya. La distancia máxima entre el controlador y los módulos de E/S Panel/Bus es de 40 m, mientras que la distancia máxima tratándose de Lon Bus es de 2200m.

Los Módulos de E/S de Panel Bus se direccionan manualmente mediante el ajuste de la rueda hexadecimal. Los módulos de E/S LONWORKS se configuran usando el CARE (software propiedad de Honeywell). También se puede usar el LonMaker y los LNS plug-ins para su configuración.

A continuación se muestra un resumen de los distintos tipos de tarjetas de entradas/salidas que el Excel 800 es capaz de gestionar (Figura 3.1.7):

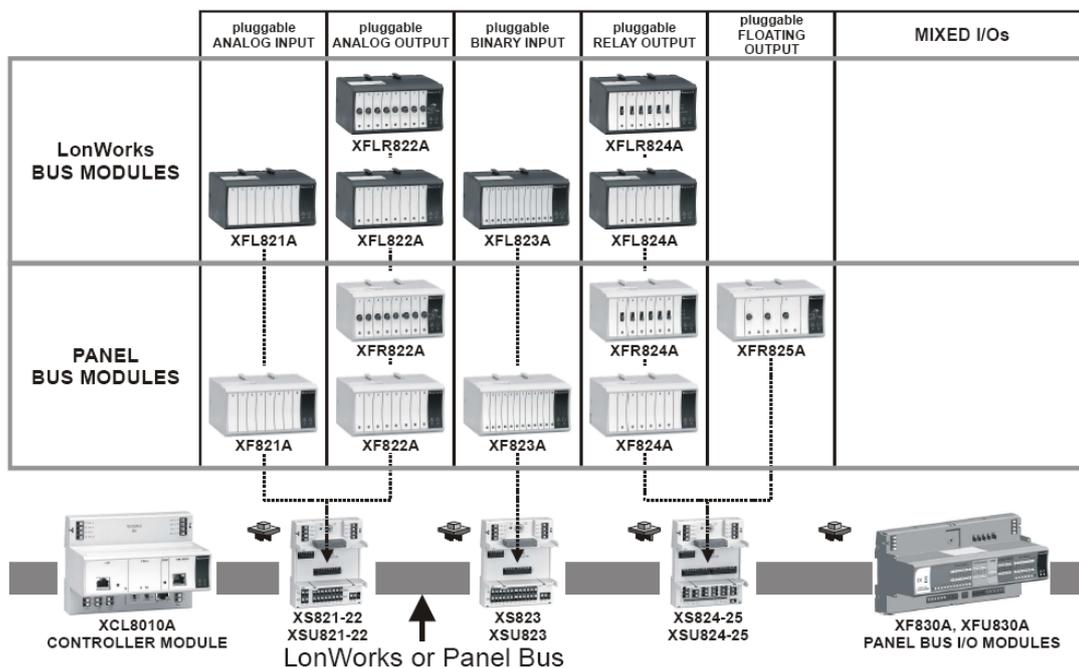


Figura 3.1.7

Los terminales de conexión para alimentación y comunicaciones del Excel 800 se muestran a continuación (Figura 3.1.8):

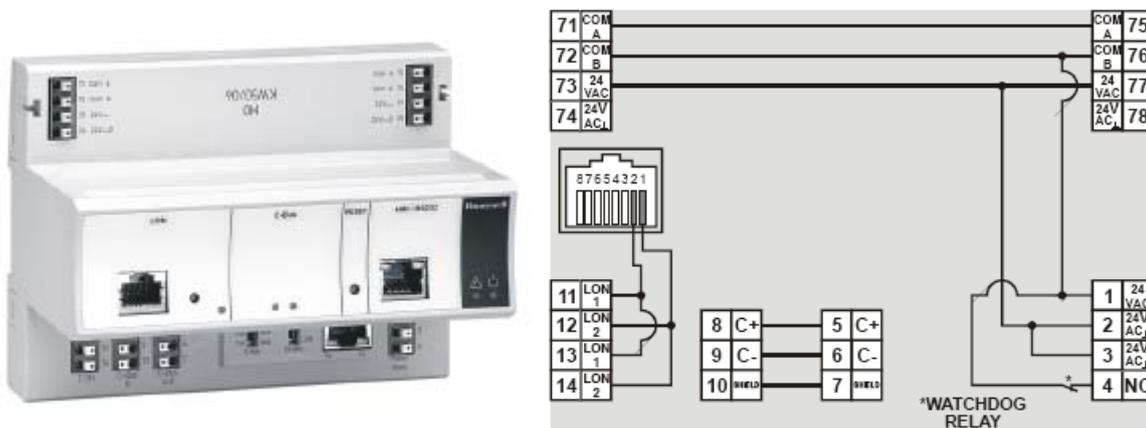


Figura 3.1.8

En cuanto a los recursos de programación del Excel 800, éste presenta numerosas ventajas con respecto a sus predecesores.

El Excel 800 incluye un software diseñado para seguir los requerimientos de los ingenieros de la aplicación. Existe un menú de fácil acceso para las siguientes funciones:

- Puntos de datos.
- Horarios.
- Alarmas.
- Programa Aplicación (DDC program).
- Protección por Clave.
- Configuración LONWORKS.

Puntos de Datos

Los Puntos de Datos constituyen la base del sistema Excel 800. Contienen información específica del sistema, como valores, estados, valores límites y ajustes por defecto. El usuario puede acceder fácilmente a los puntos de datos y a su información, así como realizar modificaciones sobre los mismos.

Horarios

El programa horario se puede usar para arrancar/parar equipos o automatizar consignas basadas en un horario. El programa horario se basa en:



- Programa diario,
- Programa semanal,
- Programa anual,
- Función HOY,
- Lista de días especiales.

Los programas diarios se usan para crear un programa semanal. El programa anual se crea automáticamente replicando el programa semanal que a su vez incluye el programa diario. La función HOY permite cambios directos del programa horario. Permite ajustar una consigna o un estado de un punto de datos a un valor determinado durante un período de tiempo definido.

Alarmas

Existe un campo de alarmas para facilitar al usuario la tarea de supervisión y mantenimiento. Todas las alarmas que se van produciendo se almacenan en ficheros y se reportan de forma inmediata. Si su sistema lo permite, se pueden listar las alarmas en una impresora o transmitir alarmas hacia arriba a una central de supervisión local o por módem.

Hay dos tipos de alarmas, críticas y no críticas. Las alarmas críticas (p.e. las generadas por fallos de comunicación) tienen prioridad sobre las no críticas. Para distinguir entre ambos tipos de alarma, pueden generarse sus propios textos de alarma o usar textos preprogramados. Los siguientes eventos pueden generar alarma:

- Exceder valores límites.
- Sobrepasar tiempo de mantenimiento establecido.
- Lecturas totalizadoras.
- Puntos de datos digitales que cambian de estado.

El buffer de alarmas tiene una capacidad de 99 alarmas.

ELECCIÓN DEL CONTROLADOR

Una vez descritas las características de los tres posibles controladores que pueden usarse para la aplicación objeto del proyecto se ha optado por la elección del controlador **Excel 800** basándose en lo siguiente:

Frente al Excel 50, el Excel 800 presenta una mayor capacidad de gestión de señales físicas. El Excel 50 no admite la posibilidad de ampliación mediante módulos de entradas/salidas por lo que únicamente se pueden utilizar las 22 señales que admite el propio controlador, estando además limitadas por tipos. Este controlador resultaría insuficiente debido a su incapacidad de gestión de las señales físicas pertenecientes a cualquiera de los sistemas a controlar.

Frente al Excel 500 no existe diferencia en cuanto a la capacidad de gestión de señales físicas, pero sí en cuanto a la capacidad de gestión de puntos, tanto pseudos como de sistema, además presenta otra serie de ventajas frente a su predecesor que hace que el Excel 800 sea el controlador elegido.

En cuanto a su instalación, es más sencilla que en cualquiera de los otros controladores gracias a la configuración de sus módulos que permite la unión de unos con otros de forma sencilla y manual sin necesidad de utilizar cableado para dar continuidad a la alimentación y comunicaciones. Su tamaño es bastante más reducido que el de sus predecesores, tanto la CPU como los módulos de entradas/salidas. Esto permite reducir el tamaño de los cuadros de control donde van ubicados permitiendo montarlos en espacios más reducidos. Todo ello da lugar a una considerable reducción de costes en su instalación.

El Excel 800 presenta una mayor flexibilidad de diseño y control para aplicaciones más complejas gracias a su mayor capacidad de memoria.

Mejor gestión de aplicaciones críticas gracias al corto ciclo (30% más rápido que el Excel 500). Volcado de firmware más rápido (~90 segundos) vía puerto serie.

Se utilizarán un total de **cinco controladores**, cada uno de ellos encargado de controlar cada una de las etapas del sistema. Se instalará un controlador con sus correspondientes tarjetas de entradas y salidas en un cuadro de control ubicado en la sala de calderas al cual llegarán todas las señales correspondientes a este sistema. Se instalará un segundo controlador con sus tarjetas de entradas y salidas en un cuadro de control ubicado en la sala de máquinas del edificio al cual llegarán todas las señales que intervienen en el control de la sala y que se encargará de gobernar dicho sistema. En la azotea del edificio se instalarán dos controladores con sus correspondientes tarjetas de entradas y salidas en dos cuadros de control independientes. Uno de ellos se encargará de gobernar todos los elementos propios de las torres de refrigeración, y el otro controlará todas las señales de los dos climatizadores instalados en la misma azotea. Por último, se instalará un controlador sobre el cual colgarán los controladores de los fancoils como si se tratasen de tarjetas de entradas/salidas.

CONTROLADOR EXCEL 10 (FANCOILS)

Para el control de los fancoils se ha optado por la elección del controlador Excel 10 específicamente diseñado para el control de éstos.

Este controlador presenta un número limitado pero suficiente de entradas/salidas que están específicamente diseñadas para gestionar las señales propias de los fancoils [14], tales como señales de marcha/paro, estado de funcionamiento, entrada para sonda de temperatura, control de velocidades del ventilador, control de válvulas, etc.

Es un controlador que no admite ningún tipo de programación adicional debido a que tiene su propio programa interno capaz de gestionar las señales de un fancoil permitiendo llevar a cabo de forma automática la regulación de éste. Esto permite que no sea necesario tener que realizar tareas de programación, lo que reduce considerablemente los costes en horas de ingeniería. Su tamaño reducido permite también una reducción de costes en su instalación ya que no necesitan ser montados en cuadros de control.

Presenta numerosas posibilidades en su configuración lo que le permite adaptarse tanto a cualquier tipo de fancoil como a cualquier tipo de necesidad. Se configuran de forma sencilla a través de su software de configuración.

Cada controlador es capaz de controlar, de forma paralela, varios fancoils, limitando el número de éstos en función del consumo de sus actuadores. En este caso se utilizará un controlador para cada fancoil lo que permitirá controlar de forma individual cada uno de los equipos dotando a la instalación de un pleno control mucho más versátil.

A continuación se describen las características del controlador Excel 10 (Figura 3.1.9).



Figura 3.1.9

El Excel 10 es un controlador capaz de proveer un perfecto control de temperatura para zonas donde intervengan fancoils, ya sean a dos o a cuatro tubos con o sin baterías de precalentamiento eléctricas. Es capaz de controlar ventiladores de una, dos o tres velocidades.

Los controladores pueden operar como unidades independientes o en línea con otros controladores utilizando tecnología LON.

Los tipos de salidas que presenta son:

- Salida para válvula de calor (flotante, PWM, on/off o multi-estado).
- Salida para válvula de frío (flotante, PWM, on/off o multi-estado).
- Salida para marcha/paro de ventilador de una, dos o tres velocidades.
- Salida de marcha/paro para batería de precalentamiento eléctrica.

La secuencia de funcionamiento del controlador se muestra en el siguiente gráfico (Figura 3.1.10):

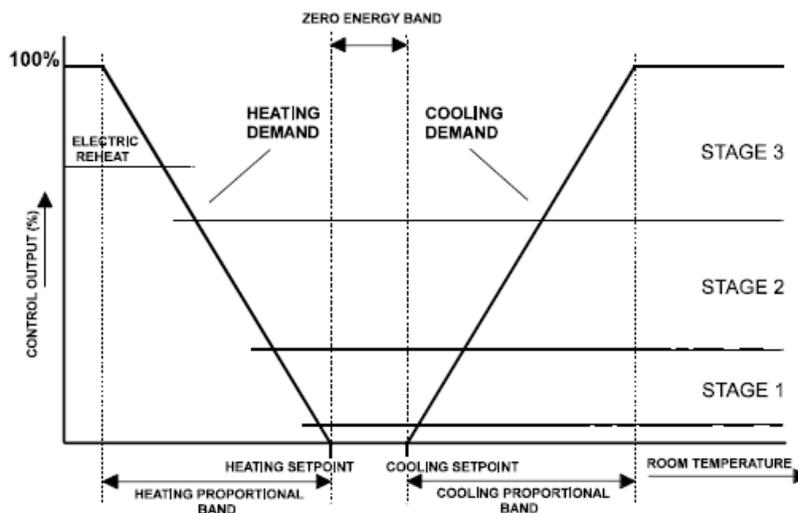


Figura 3.1.10

Existen dos puntos de consigna, uno para frío y otro para calor entre los cuales se encuentra la denominada banda muerta dentro de la cual no se realiza ningún tipo de actuación con ninguna de sus salidas.

A medida que la temperatura desciende por debajo del punto de consigna de calor, aumenta de forma proporcional la salida de control de demanda de calor dando lugar a la activación de la batería de precalentamiento acercándonos a valores altos de demanda.

A medida que la temperatura asciende por encima del punto de consigna de frío, aumenta de forma proporcional la salida de control de demanda de frío.

Las salidas que intervienen en esta secuencia se pueden activar o desactivar en función de las características del fancoil a través del software de configuración.

Presenta distintos modos de operación posibles:

- **Modo Ocupado:** Este es el modo normal de operación para una sala o zona cuando esta ocupada. El controlador puede adoptar este modo mediante un comando vía network, mediante un sensor de presencia o a través del botón de cambio de modo que incorpora su módulo de pared. En este modo el ventilador

- puede ser controlado a través del switch de velocidad de su módulo de pared o a través del algoritmo de control cuando el switch está en “auto”.(Figura 3.1.11)
- Modo Espera: El modo espera permite un ahorro de energía reduciendo la demanda de frío o calor cuando la zona está temporalmente desocupada. En este modo se apaga el ventilador cuando se está dentro de la banda muerta.
 - Modo Desocupado: Este modo se usa durante largos periodos de desocupación tales como las noches, fines de semana o vacaciones.
 - Ventana abierta: Si el controlador está configurado y provisto de un detector de ventana abierta, éste desactiva el aporte de frío o calor hasta que la ventana se cierra de nuevo.
 - Protección antihielo: Si se configura esta opción, el controlador habilita el circuito de calor como protección para evitar la congelación de la batería de frío del fancoil.

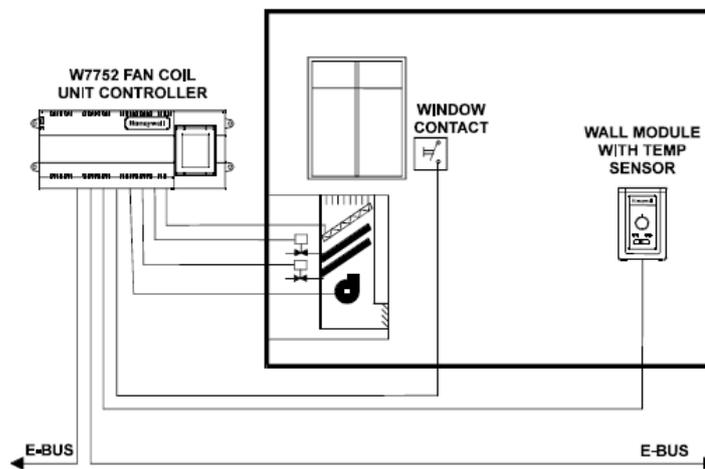


Figura 3.1.11

Se alimenta con una tensión de 220 V de corriente alterna y consume un máximo de 30 VA.

Cuenta con un procesador NEURON 3150 corriendo a 5 MHz con una memoria RAM de 2 KByte y una memoria EEPROM de 0,5 KByte. Cuenta con un transformador de 16 VA protegido por fusibles.

El esquema de conexionado del Excel 10 se muestra a continuación (Figura 3.1.12):

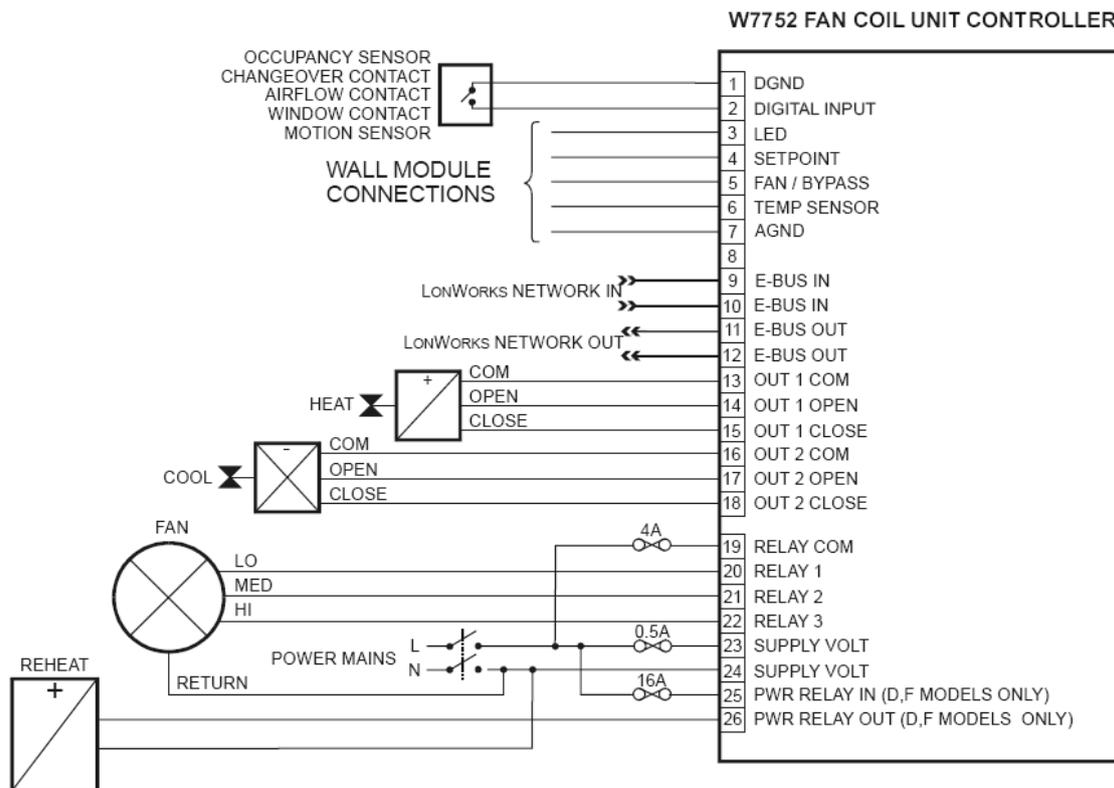


Figura 3.1.12

3.2 Elección de tarjetas de entradas/salidas.

La elección del controlador Excel 800 como CPU para gestionar los distintos sistemas físicos condiciona y obliga a utilizar tarjetas compatibles con dicho controlador [13].

Para este tipo de controlador existen tarjetas de panel o distribuidas. Las tarjetas de panel comunican con el controlador vía C-Bus y deben montarse como mucho a 40 metros de distancia de la CPU. Su direccionamiento es hexadecimal. Las tarjetas distribuidas comunican con el controlador vía LON Bus y pueden localizarse a gran distancia de la CPU, siempre y cuando no se excedan los 2200 metros de tirada de bus.

En este caso se utilizarán **tarjetas de panel** debido a que el coste de éstas es mucho más reducido que el de las tarjetas distribuidas y no se requiere que éstas se sitúen en algún lugar lejano a la CPU sino que se instalarán en su mismo cuadro de control ya que éste se ubicará próximo al punto de origen de las señales del sistema a controlar.

De esta forma también se reduce el coste de horas de ingeniería debido a que estas tarjetas no necesitan ser comisionadas y su direccionamiento se realiza de forma manual a través de un selector incorporado en el módulo base de la tarjeta.

Existen cuatro tipos distintos de tarjetas de panel para el Excel 800, entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales y salidas digitales. Todas ellas cuentan con un LED de alimentación verde y un LED de estado amarillo. Todas las entradas y salidas están protegidas contra sobretensión de 24 Vac y 40 Vdc así como contra cortocircuito. Cada módulo de E/S está equipado con un LED de servicio amarillo para diagnóstico de fallos. Cada módulo de E/S está equipado con su propio microprocesador.

MODULOS DE ENTRADAS ANALÓGICAS

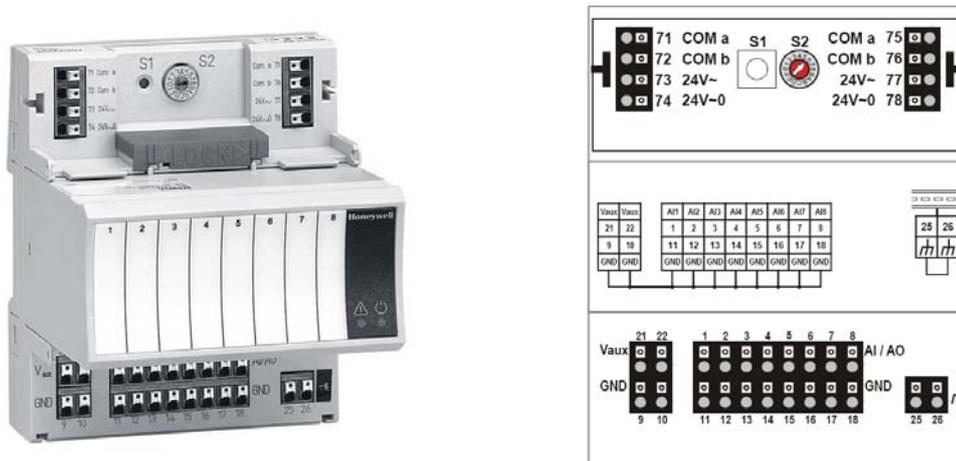


Figura 3.2.1

El módulo de entradas analógicas alberga hasta un total de ocho entradas que poseen las siguientes características (Figura 3.2.1):

- Entradas de 0...10 Vdc o 2...10 Vdc.
- Entradas de 4...20 mA (necesita instalación de resistencia en paralelo de 500 ohmios).
- NTC 20k.
- NTC 10k (-30...+100°C).
- PT1000-1 (-50...+150°C).
- PT1000-2 (0...+400°C).
- NI1000TK5000 (-30...+130°C).
- PT3000 (-50...+150°C).
- BALCO500 (-30...+120°C).
- Entrada binaria.
- 16 bit de resolución.
- Offset configurable por entrada.
- Tensión auxiliar de 10 Vdc con una corriente máxima de 5mA.
- Detección de fallo de sensor.

Se instalarán un total de **5 tarjetas de entradas analógicas modelo XF821A**.

MODULOS DE SALIDAS ANALÓGICAS

Los módulos de salidas analógicas disponen de ocho salidas y se encuentran disponibles en dos versiones, con o sin sobremandos manuales (Figura 3.2.2).

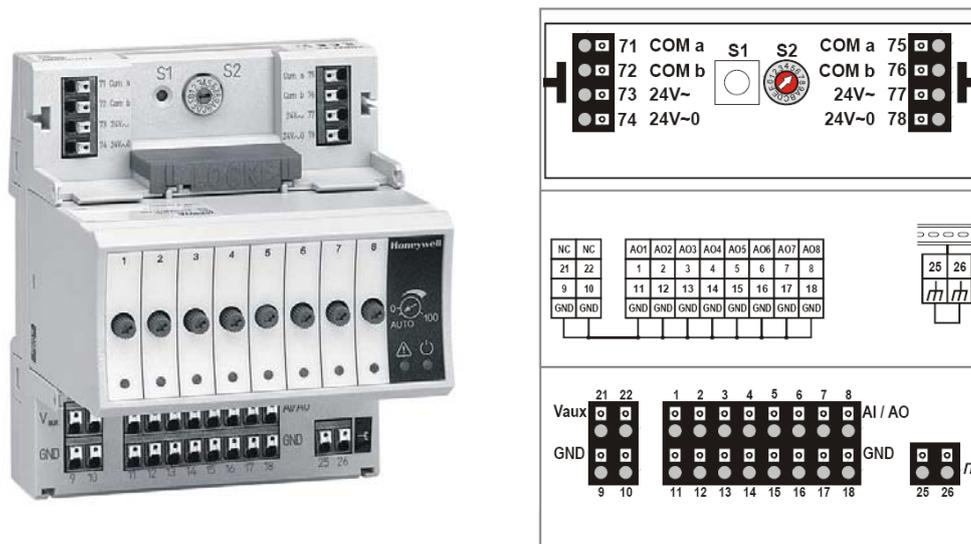


Figura 3.2.2

El módulo de salidas analógicas presenta las siguientes características:

- Salidas de 0...11 Vdc +/- 1mA.
- Actuador flotante.
- Salida binaria de 0V / 10V.
- LED rojo por salida que brilla de acuerdo al nivel de la señal.
- 8 bit de resolución.
- Posición de seguridad configurable para salidas en caso de problemas de comunicación (permanece al 0, 50 o 100%).

Se instalarán un total de **2 tarjetas de salidas analógicas modelo XF822A**.

MODULOS DE ENTRADAS DIGITALES.

Los módulos de entradas digitales disponen de un total de 12 entradas con las siguientes características (Figura 3.2.3):

- Entrada binaria estática (contacto libre de tensión).
- Entrada totalizadora para hasta 20 Hz.
- LEDs por entrada binaria que soporta modo display de alarma o modo de estado.

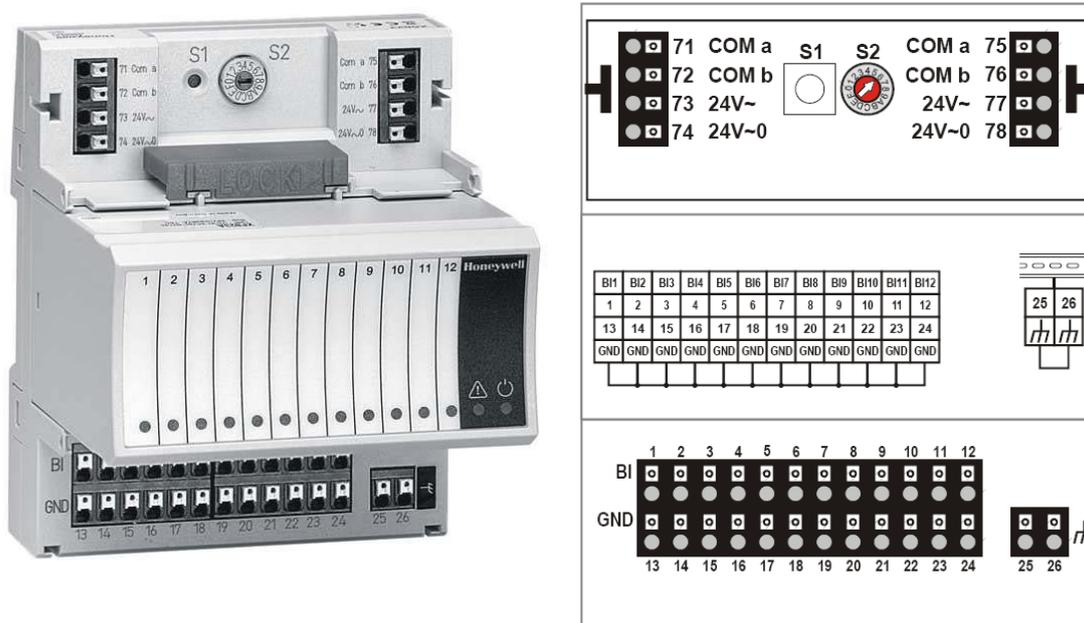


Figura 3.2.3

Se instalarán un total de **4 tarjetas de entradas digitales modelo XF823A.**

MODULOS DE SALIDAS DIGITALES.

Los módulos de salidas digitales disponen de seis salidas y se encuentran disponibles en dos versiones, con o sin sobremandos manuales (Figura 3.2.4).

Las características para este módulo son:

- Conector cruzado
- 1 LED Amarillo por salida
- Versiones opcionales con sobremando manual (Auto, 0,1; LED se ilumina en modo sobremando)
- Feedback sobre señal sobremando manual
- Posición seguridad configurable para salidas en caso de problemas de comunicación (permanence, OFF, ON)
- Carga admisible por Módulo Salida Relé (Total)
 - *Max. carga:*
 - 19...250 Vac: 12 A
 - 1...24 Vdc: 12 A resistivo, 3 A inductivo
- Carga admisible por contacto normalmente abierto:
 - *Max. carga:*
 - 19...250 Vac: 4 A resistivo o inductivo
 - 1...24 Vdc: 4 A resistivo, 1 A inductivo
 - *Min. carga:* $P > 50 \text{ mW}$
- Carga admisible por contacto normalmente cerrado:
 - *Max. carga:*
 - 19...250 Vac: 2 A resistivo, 1 A inductivo
 - 1...24 Vdc: 2 A resistivo, 1 A inductivo
 - *Min. carga:* $P > 50 \text{ mW}$

Se instalarán un total de **4 tarjetas de salidas digitales modelo XF824A.**

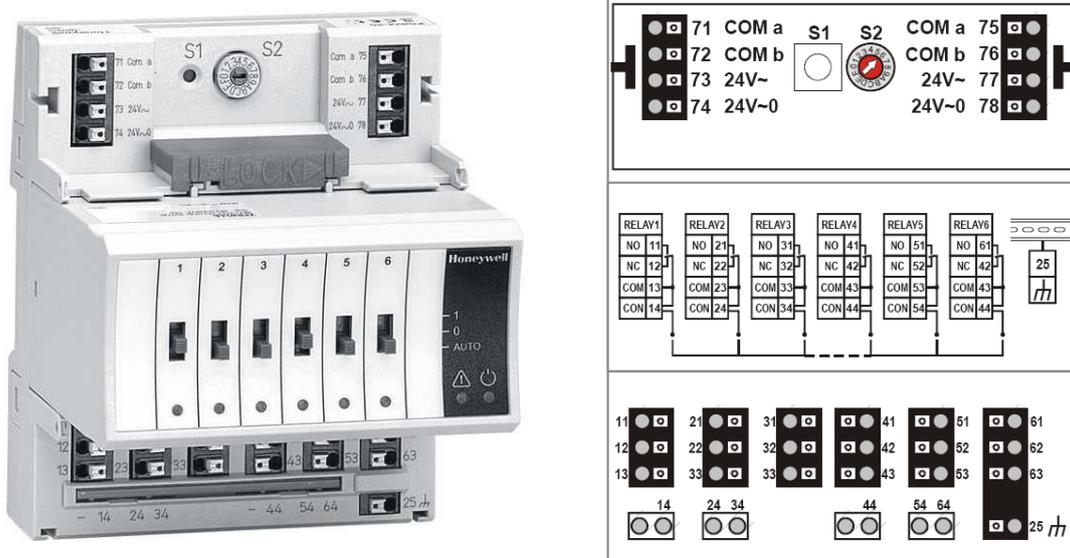


Figura 3.2.4

3.3 Elementos de entrada (Sensores).

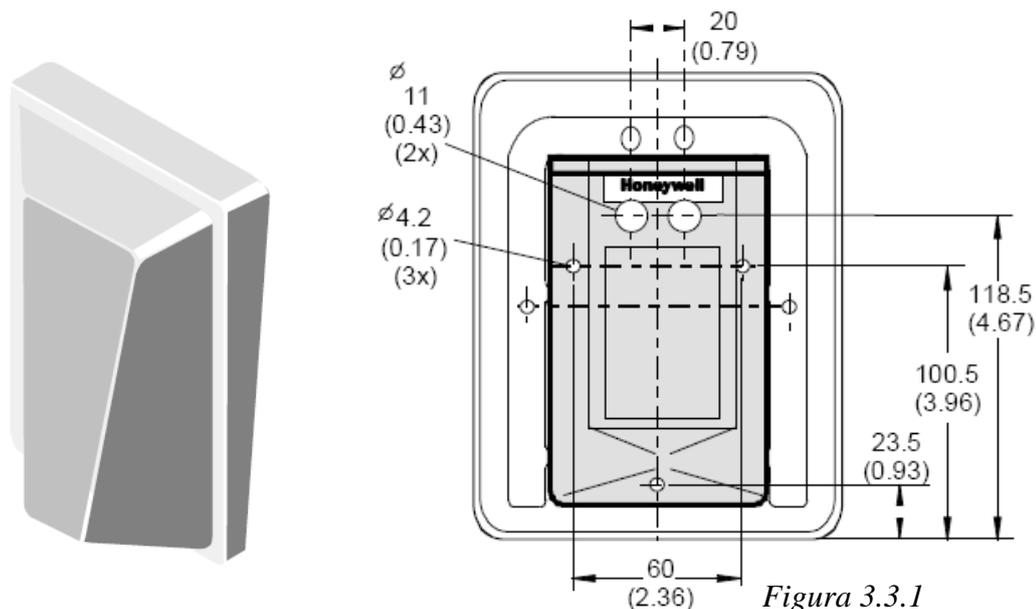
En el siguiente apartado se describirán los elementos de entrada (sensores) necesarios para la gestión de los distintos sistemas físicos a controlar que servirán para dotar a los controladores de la información que necesitan para, en función de ésta, actuar de una manera determinada sobre los elementos de salida consiguiendo de esta forma un control total de la instalación.

Las señales provenientes de los elementos de entrada serán principalmente de dos tipos: señales de **tipo digital** como pueden ser presostatos, termostatos, medidores de nivel, etc. y señales de **tipo analógico** como medidas de temperatura, humedad, presión, etc.

Todos los elementos de entrada serán de la marca Honeywell debido a que supondrá un mejor entendimiento entre éstos y los controladores así como una comunicación más rápida y fluida. De esta forma se conseguirá también reducir costes ya que las horas de ingeniería dedicadas a la integración de éstos en el sistema de control será mucho menor.

SONDA COMBINADA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EXTERIOR.

Para la medida de temperatura y humedad exterior se utilizará una sonda combinada de temperatura y humedad de la marca Honeywell [15]. Esta sonda está específicamente diseñada para su montaje en el exterior gracias a la carcasa que posee que evita la entrada de agua en caso de lluvia. Estas medidas se transmitirán en forma de **entradas analógicas** a los controladores de la instalación. (Figura 3.3.1)



Existen tres modelos distintos de sondas combinadas exteriores, los cuales se describirán brevemente seleccionando el modelo más adecuado que atienda a nuestras necesidades.

Los tres modelos presentan un sensor capacitivo para la medida de humedad relativa junto con un sensor de temperatura de tipo PT1000, BALCO 500 o NTC 20K según el modelo (Figura 3.3.2).

Modelo.	Tipo sensor de temperatura
H7508A1026	Pt 1000
H7508A1034	BALCO 500
H7508A1042	20k Ω NTC

Figura 3.3.2

Las diferencias entre los tres modelos existentes referentes al sensor de temperatura se resumen en lo siguiente:

Rango de medida:

El rango de medida para la temperatura es el mismo en los tres modelos existentes: -30...70°C (-22...158°F).

Valor nominal:

Pt 1000 --> 1000 Ω a 0°C
Balco 500 --> 500 Ω a 23,3°C
NTC --> 20k Ω a 25°C

Precisión:

Pt 1000 --> $\pm 0,3$ K
Balco 500 --> $\pm 0,4$ K
NTC --> $\pm 0,2$ K

Sensibilidad:

Pt 1000 --> 3,85 Ω /K
Balco 500 --> 2 Ω /K

Offset debido a la resistencia del cable por cada 10m de distancia del sensor al controlador (Figura 3.3.3):

Tipo cable	Offset temperatura		
	Pt 1000	BALCO 500	NTC
0.5mm ² (AWG20)	0.18°C (0.324°F)	0.3°C (0.54°F)	despreciable
1.0mm ² (AWG17)	0.09°C (0.162°F)	0.15°C (0.27°F)	
1.5mm ² (AWG15)	0.06°C (0.108°F)	0.1°C (0.1°F)	

Figura 3.3.3

A continuación se describirán las características para el sensor de humedad relativa exterior:

Rango de medida:

5...95% rh

Señal de salida:

Rango 0..1V equivalente a 0...100% rh

Rango 0...10V equivalente a 0...100% rh

Impedancia de salida:

Rango 0...1V --> 183 Ω

Rango 0...10V --> 274 Ω

Sensibilidad:

Rango 0...1V --> 10mV/%rh

Rango 0...10V --> 100mV/%rh

Las especificaciones generales son las mismas para los tres modelos y se resumen a continuación:

Estas sondas precisan de alimentación exterior debido a la existencia del sensor capacitivo para la lectura de humedad relativa. Dicha tensión puede ser corriente alterna de 24V (50/60Hz) o corriente continua de 34V. El consumo se mantiene en torno a 20mA para 24V.

Tanto la caja, como el peso y dimensiones de la sonda son las mismas para los tres modelos. (Véase hojas de características en anexo).

Al tratarse de una sonda combinada de temperatura y humedad que se va a colocar en el exterior y cuyas medidas van a ser determinantes para procesos tan esenciales como la activación y desactivación de las producciones de calor y frío es necesario tener en cuenta una serie de advertencias en cuanto a su instalación y montaje para así evitar posibles medidas erróneas:

- Montar el sensor donde esté protegido de la lluvia y de la radiación solar directa, preferiblemente con orientación norte.
- Montar el sensor preferiblemente en el muro externo del edificio que tenga el mayor número de ventanas de los espacios a ser controlados.
- Para una medida precisa, asegurar circulación de aire suficiente.
- Sellar el conducto del cable para evitar falsas medidas provenientes de aire cálido desde el conducto.
- Asegurar que los agujeros internos en la carcasa del sensor están sellados y que el cable va de abajo a arriba para evitar la entrada de gotas de lluvia.
- No montar el sensor sobre ventanas, puertas, extractores u otras fuentes de calor, o cerca de aleros de tejados o balcones.

ELECCIÓN DEL MODELO DE SONDA COMBINADA EXTERIOR

La sonda combinada exterior que se instalará servirá para determinar la activación o desactivación de los procesos de producción de frío y calor. Según la medida de temperatura de dicha sonda se activará la producción de frío, la de calor o ninguna de las dos.

Del mismo modo, servirá para determinar la necesidad de aporte de aire exterior a los climatizadores para realizar la función de freecooling cuando la temperatura de la calle sea inferior a la de retorno de los climatizadores y sea necesario aportar aire frío a la instalación.

La medida de humedad relativa exterior será, en un principio, puramente informativa a no ser que en algún momento se quisiera realizar un control por entalpía en los climatizadores. Aún así, el sensor de humedad relativa es el mismo en los tres modelos disponibles, por lo que no será determinante para la elección del modelo de sonda.

Sin embargo, para la medida de la temperatura, lo que más interesa es que ésta sea lo más precisa posible debido a la importancia de los procesos que desencadena. Por tanto se elegirá el modelo más preciso de los tres, el **H7508A1042** con sensor de temperatura **NTC 20k Ω** que es el más preciso frente a los otros dos modelos.

El rango de medida es el mismo para los tres modelos por lo que este aspecto no es relevante a la hora de elegir un modelo u otro. Otro aspecto determinante para la elección de este modelo es que el offset debido a la resistencia del cable que va desde el sensor al controlador es prácticamente despreciable frente al originado por los otros dos modelos existentes.

Se utilizarán un total de **dos sondas combinadas de temperatura y humedad exterior** del modelo indicado y se calculará una media de las dos medidas de humedad y temperatura para obtener una medida más precisa. De este modo se puede asegurar que, en el caso de que una de las dos sondas se averíe, el sistema despreciará la averiada y funcionará con la otra sonda evitando que los procesos funcionen de manera incorrecta.

SONDA COMBINADA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD AMBIENTE

Las sondas de temperatura y humedad ambiente se montarán en los espacios útiles de las plantas del edificio, es decir, en los espacios donde se va a consumir el aire producido por la instalación. Por lo tanto, van a dar una información esencial para conocer el estado del ambiente en todo el edificio, tanto en temperatura como en humedad. A través de la información de estas sondas se podrá actuar sobre el sistema y detectar posibles fallos o averías en el sistema de climatización asegurando así en todo momento una sensación de confort para todas las personas que ocupan el edificio.

A través de estas sondas se obtendrá información de la temperatura y humedad en todas las zonas del edificio de una manera rápida y en tiempo real y serán las encargadas de avisar tanto al sistema como al usuario de una posible desviación en temperatura o humedad en cualquier zona del edificio siempre y cuando las medidas salgan fuera de unos límites de alarma definidos por el usuario. Estas medidas se transmitirán en forma de **entradas analógicas** a los controladores de la instalación. (Figura. 3.3.4)

Se utilizarán sondas ambiente de la marca Honeywell [16] entre las que se distinguen dos modelos principales:

- H7012A: Consta de un sensor de humedad relativa de tipo capacitivo diseñado para su montaje en pared.
- H7012B: Consta de un sensor de humedad relativa de tipo capacitivo y un sensor de temperatura de tipo Balco500, PT1000 o NTC20k Ω .

Las características tanto del sensor de humedad como de los tres tipos de sensores de temperatura son las mismas que las descritas anteriormente para las sondas combinadas de temperatura y humedad exterior.

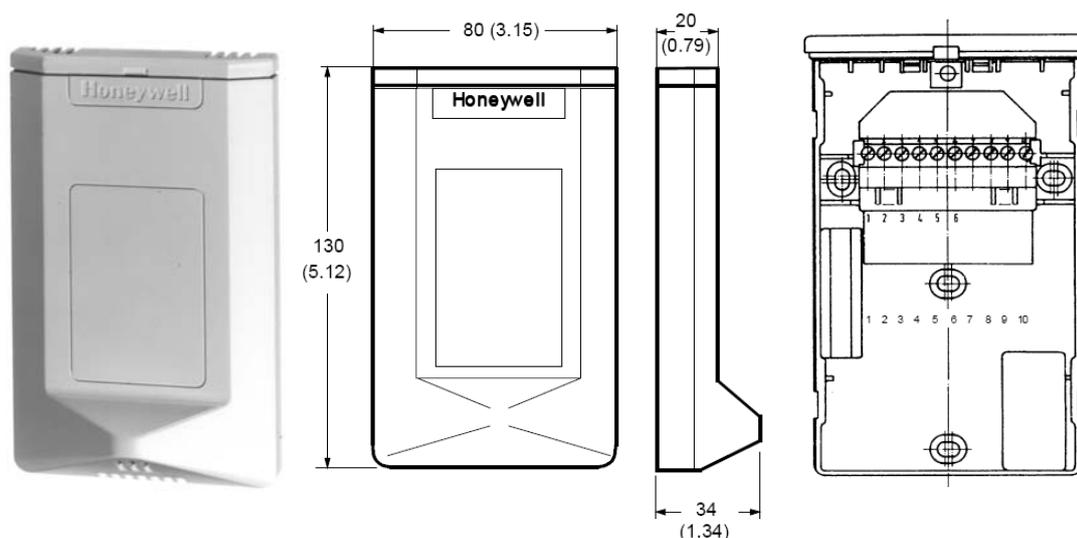


Figura 3.3.4



Las sondas precisan de alimentación auxiliar externa debido a la presencia del sensor capacitivo y ésta puede ser alterna de 24 Vac o continua de 34 Vdc. Presenta un consumo de 20 mA a 24Vac.

Cuenta con una carcasa de plástico (ABS) para montaje en pared o superficie. Cuenta con protección IP30.

ELECCIÓN DEL MODELO DE SONDA DE AMBIENTE

Como se ha explicado anteriormente, estas sondas son de carácter puramente informativo ya que no intervienen en ningún lazo de control debido a que los climatizadores regulan por temperatura y humedad de retorno. Sin embargo, es una información muy valiosa para conocer a primera vista el estado de la instalación.

Con el objetivo de ahorrar dinero, se decide instalar sondas del tipo H7012B ya que presentan tanto sensor de temperatura como de humedad. Esto permite un ahorro de costes tanto en material como en instalación ya que reduce el número de equipos a la mitad.

El cuanto al tipo de sensor de temperatura se ha optado por el tipo NTC20k Ω ya que es el más preciso de los tres modelos existentes. Este es un factor importante debido a que estas sondas serán las encargadas de generar las señales de alarma al sistema en el momento en que se produzca una desviación en el ambiente de una zona en concreto.

Además este tipo de sensor presenta un offset debido a la resistencia del cable entre la sonda y el controlador prácticamente despreciable frente al que ofrecen los otros dos modelos.

Se montarán un total de **60 sondas** combinadas de temperatura y humedad ambiente **del tipo H7012B1023**. La distribución de las sondas se realizará a lo largo de las seis plantas útiles del edificio colocando un total de 10 sondas por planta de las cuales ocho de ellas se encontrarán en el perimetral de las plantas alejadas de las ventanas y de los focos de frío o calor, en un lugar donde el flujo de aire sea el necesario. Las otras dos sondas se colocarán en las vigas centrales de cada planta asegurando así información en cuanto a la temperatura y humedad en todas las zonas del edificio.

SONDA DE TEMPERATURA DE INMERSIÓN

Para las medidas de la temperatura del agua en las tuberías de la instalación se elegirán unas sondas de la marca Honeywell [17] específicamente diseñadas para ser montadas en los picajes realizados en las tuberías de la instalación, previo montaje de las vainas correspondientes. Estas medidas se transmitirán en forma de **entradas analógicas** a los controladores de la instalación. (Figura. 3.3.5).



Figura 3.3.5

Para las sondas de inmersión existen varios modelos distintos atendiendo al tipo de sensor de temperatura que presentan: PT1000 o NTC20k y atendiendo a la longitud y material de la vaina. Ambas presentan un alto rango de medida y una alta precisión.

Las diferencias entre los dos modelos existentes atendiendo al tipo de sensor de temperatura se muestran a continuación:

Valor nominal:

PT1000 --> 1000Ω a 0°C

NTC20k Ω --> $20\text{k}\Omega$ a 25°C

Precisión:

PT1000 --> $0.3\text{K} + 0.5\% \cdot |t|$, (t en $^{\circ}\text{C}$)

NTC20k Ω --> $0.3\text{K} + 1\% \cdot |t-25^{\circ}\text{C}|$, (t en $^{\circ}\text{C}$)

Sensibilidad:

PT1000 --> $3.85 \Omega/\text{K}$

NTC20k Ω --> $-934.5 \Omega/\text{K}$ a 25°C (no lineal)

Atendiendo al material con el que está hecha la vaina, el tiempo de respuesta del sensor varía de un modelo a otro. En el caso de que la vaina sea de cobre el tiempo de respuesta del sensor es de 18 segundos, mientras que si la vaina es de acero inoxidable el tiempo de respuesta aumenta hasta los 30 segundos.

La caja de seguridad que protege el sensor es, para todos los modelos la misma y cuenta con una protección IP-54.

A continuación se muestra una tabla resumen con las características y diferencias principales entre los distintos modelos existentes de sondas de temperatura de inmersión (Figura 3.3.6).

Modelos

Modelo	Tipo sensor	Rango	Longitud en mm (inches)		Vaina
			L1	T1	
VF20T	NTC 20 kΩ	-25...+130 °C	185 (7.28)	152 (5.98)	VFHT
VF20L			338 (13.30)	305 (12.00)	VFL
VF20NT		-25...+150 °C	185 (7.28)	152 (5.98)	VFNT
VF20LN			338 (13.30)	305 (12.00)	VFLN
T7413A1009	PT1000	-25...+130 °C	193 (7.59)	180 (6.29)	VFHT
T7413A1041		-25...+150 °C*	185 (7.28)	152 (5.98)	No incluida
T7413A1058			338 (13.30)	305 (12.00)	
WPF20T	NTC 20 kΩ (dos sensores)	-25...+130 °C	185 (7.28)	152 (5.98)	VFHT
WPF20L			338 (13.30)	305 (12.00)	VFL

*Cuando se usa una vaina de inmersión de acero inoxidable.

Vaina de Inmersión

Modelo	Longitud mm (inch) T2	Vaina inmersión	P _{max}	Max.veloc. fluido
VFHT	135 (5.31)	latón, R1/2" / BSP1/2", PN16	15 bar	8 m/s
VFL	300 (11.81)			3 m/s
VFNT	135 (5.31)	Acero inoxidable, R1/2" / BSP1/2" PN25	25 bar	15 m/s
VFLN	300 (11.81)			8 m/s

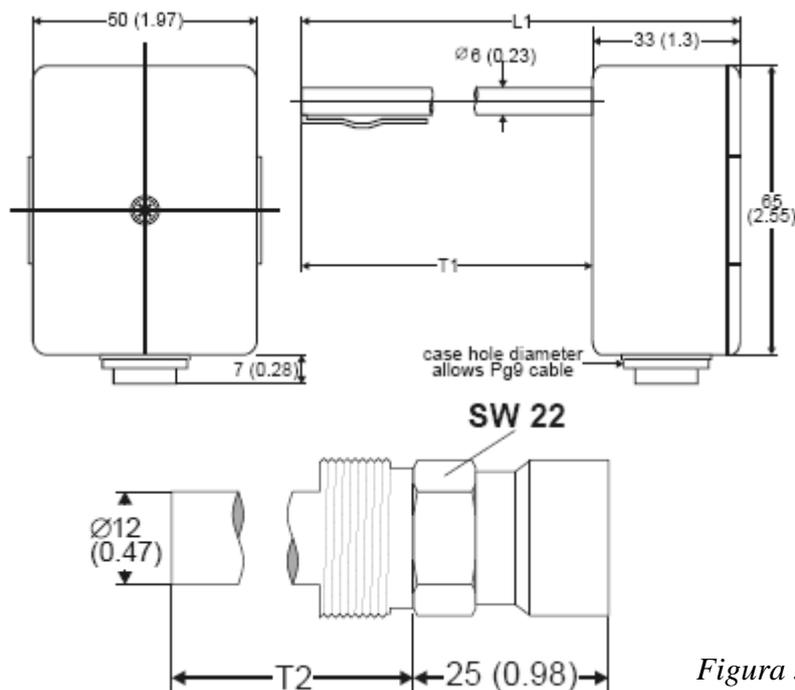


Figura 3.3.6

ELECCIÓN DEL MODELO DE SONDA DE TEMPERATURA DE INMERSIÓN.

Se utilizará **una sonda de temperatura** de inmersión para determinar la activación o desactivación de las **calderas** según la demanda a través de la lectura de temperatura del **colector de retorno**. Del mismo modo se instalará **una sonda a la salida de cada caldera** y otra en el **colector de impulsión** y ambas serán de carácter puramente informativo ya que no intervendrán en ningún lazo de control.

Para la **sala de frío**, se instalará **una sonda** en el **colector de retorno** que determinará la activación o desactivación de los grupos de frío según la demanda. Se instalará otra **sonda a la salida del evaporador de cada grupo** que servirá para conocer la temperatura del agua de salida hacia el **colector de impulsión** donde se instalará otra sonda de carácter puramente informativo.

En el circuito de refrigeración se instalarán **sondas de inmersión en las tuberías de entrada y salida de agua de cada torre**. Las de la entrada serán puramente de carácter informativo y las de salida servirán para determinar la secuencia de activación de los ventiladores de las torres atendiendo al punto de consigna introducido por el usuario.

Para las sondas de temperatura de inmersión, el factor más determinante a la hora de elegir un modelo u otro radica en el tiempo de respuesta de la sonda más que en el tipo de sensor, ya que las diferencias en cuanto a la sensibilidad y precisión entre ambos modelos no son muy relevantes. Por el contrario, el tiempo de respuesta es un factor determinante. En el caso de la sonda de temperatura exterior éste no era un factor a tener en cuenta ya que la temperatura exterior presenta una gran inercia, es decir, la variación se da de manera lenta y progresiva. Por el contrario, la temperatura del agua en instalaciones de producción varía de forma brusca y mucho más rápido, por lo que interesa una sonda que presente menor tiempo de respuesta.

Por tanto, se utilizarán sondas con vaina de cobre que presentan menor tiempo de respuesta que las que tienen vainas de acero inoxidable.

En cuanto a la elección del tipo de sensor, se instalará uno del tipo PT1000 ya que presenta una mayor precisión para altas y bajas temperaturas, y dado que se utilizarán en el proceso de producción de agua fría y caliente, es un dato muy importante a tener en cuenta.

Por lo tanto se utilizarán un total de **12 sondas de inmersión de temperatura modelo VF20...** atendiendo a los diámetros de las tuberías en la que se instalarán.

SONDA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DE CONDUCTO

Para las medidas de temperatura y humedad del aire en los conductos de los climatizadores se elegirán unas sondas de temperatura de la marca Honeywell [18] específicamente diseñadas para el montaje en conductos de ventilación. Estas medidas se transmitirán en forma de **entradas analógicas** a los controladores de la instalación.

Estas sondas tienen gran importancia en el sistema de control de la climatización del edificio ya que intervendrán de manera activa en los lazos de regulación de la temperatura del aire que retornará a los climatizadores, es decir, del aire ambiente que retorna del edificio. A partir de la medida de estas sondas el controlador actuará sobre las válvulas de frío y calor de las baterías de los climatizadores según sea necesario.

Del mismo modo, la medida de la humedad intervendrá de manera activa en el lazo de control para regular la humedad del aire ambiente del edificio. A través de esta medida el controlador actuará sobre el humectador del controlador según sea necesario. (Figura 3.3.7).



Figura 3.3.7

Existen tres modelos distintos de sondas combinadas de conducto, los cuales se describirán brevemente seleccionando el modelo más adecuado que atienda a nuestras necesidades.

Los tres modelos presentan un sensor capacitivo para la medida de humedad relativa junto con un sensor de temperatura de tipo PT1000, BALCO 500 o NTC 20K según el modelo.

Las diferencias entre los tres modelos existentes referentes al sensor de temperatura se resumen en lo siguiente:

Rango de medida:

El rango de medida para la temperatura es el mismo en los tres modelos existentes: -30...70°C (-22...158°F).

Valor nominal:

Pt 1000 --> 1000 Ω a 0°C
Balco 500 --> 500 Ω a 23,3°C
NTC --> 20k Ω a 25°C

Precisión:

Pt 1000 --> $\Delta T/K = \pm(0.3 + 0.005 \cdot |t|)$, t en °C
Balco 500 --> $\pm 0,4$ K
NTC --> $\pm 0,3$ K

Sensibilidad:

Pt 1000 --> 3,85 Ω/K
Balco 500 --> 2 Ω/K

El tiempo de respuesta de los tres tipos distintos de sensores de temperatura cuando la velocidad del aire es de 5m/s varía de 45 segundos para la Balco 500, 60 segundos para la PT1000 y 85 segundos para la NTC20k Ω . En este caso la inercia de la temperatura ambiente es muy grande por lo que el tiempo de respuesta de las sondas no será un factor determinante para elegir el tipo de sensor de temperatura.

A continuación se mostrarán las características importantes relativas al sensor de humedad presente en la sonda:

Rango de medida:

5...95% rh

Señal de salida:

Rango 0..1V equivalente a 0...100% rh
Rango 0...10V equivalente a 0...100% rh

Impedancia de salida:

Rango 0...1V --> 183 Ω
Rango 0...10V --> 274 Ω

Sensibilidad:

Rango 0...1V --> 10mV/%rh
Rango 0...10V --> 100mV/%rh

Estas sondas precisan de alimentación exterior debido a la existencia del sensor capacitivo para la lectura de humedad relativa. Dicha tensión puede ser corriente alterna de 24V (50/60Hz) o corriente continua entre 15 y 30 Vdc. El consumo se mantiene en torno a 15mA para 24V.

Tanto la caja, como el peso y dimensiones de la sonda son las mismas para los tres modelos. La caja cuenta con protección IP54 lo que posibilita su montaje en exterior. Este es un factor imprescindible ya que los climatizadores se instalarán en la cubierta del edificio y por lo tanto las sondas de conducto estarán cara al exterior.

Al tratarse de una sonda combinada de temperatura y humedad que va a ser colocada cara al exterior y cuyas medidas van a ser determinantes en los lazos de control para la regulación de la temperatura y humedad ambiente del edificio es necesario tener en cuenta una serie de advertencias en cuanto a su instalación y montaje (Figura 3.3.8) para así evitar posibles medidas erróneas. A continuación se muestra el esquema de montaje de la sonda en el conducto y las especificaciones generales.

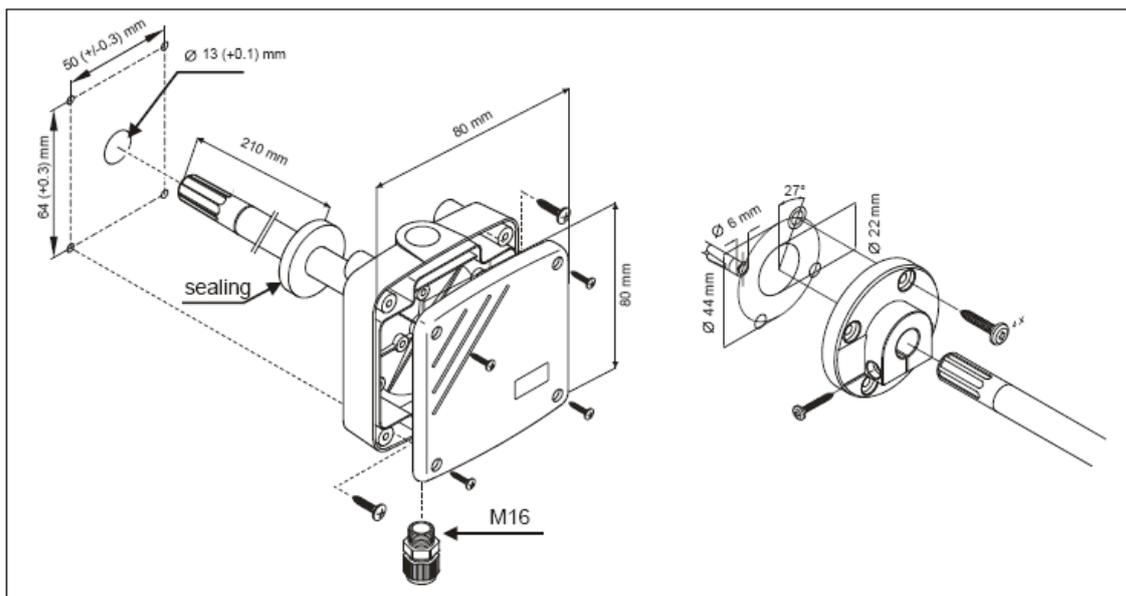


Figura 3.3.8

- La instalación del sensor cerca de fuentes de emisiones EMI puede provocar lecturas de medidas erróneas.
- Se aconseja utilizar cableado con tierra en zonas con altas emisiones de EMI.
- Se aconseja guardar una distancia mínima de 15cm entre el cableado de la señal de medida y las líneas de potencia de 220V.
- Se aconseja utilizar dos transformadores distintos para alimentar los controladores (equipos de control) y los sensores (equipos de campo).



ELECCIÓN DEL MODELO DE SONDA COMBINADA DE CONDUCTO

Las sondas combinadas de conducto que se instalarán servirán para determinar la apertura o cierre de las válvulas de las baterías de frío y calor de los climatizadores así como la activación, desactivación y regulación de los humectadores. Este control se llevará a cabo a través de las sondas instaladas en los conductos de retorno de los climatizadores que conducen el aire ambiente del edificio.

Las medidas de las sondas instaladas en los conductos de impulsión de los climatizadores serán de carácter puramente informativo ya que no intervendrán en los lazos de control. Con la instalación de estas sondas, a parte de recibir información, se posibilita un control de la impulsión tanto en la temperatura como en la humedad del aire en caso de que fuese necesario.

El sensor de humedad relativa es el mismo en los tres modelos disponibles, por lo que no será determinante para la elección del modelo de la sonda.

Sin embargo, para la medida de la temperatura, lo que más interesa es que ésta sea lo más precisa posible debido a la importancia de los lazos de control en los que intervienen. Por tanto se elegirá el modelo más preciso de los tres, el **H7015B1020** con sensor de temperatura **NTC 20k Ω** que es el más preciso frente a los otros dos modelos.

El rango de medida es el mismo para los tres modelos por lo que este aspecto no es relevante a la hora de elegir un modelo u otro.

Otro aspecto determinante para la elección de este modelo es que el offset debido a la resistencia del cable que va desde el sensor al controlador es prácticamente despreciable frente al originado por los otros dos modelos existentes.

Por otro lado, la caja de protección cuenta con protección IP54 que permite su montaje en exterior ya que estas sondas irán colocadas en los conductos de ventilación ubicados en la cubierta del edificio.

Se instalarán un total de **cuatro sondas combinadas de temperatura y humedad de conducto** instaladas en los conductos de impulsión y retorno de los dos climatizadores existentes.

TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL PARA CONDUCTO

Para las medidas de presión diferencial en los conductos de ventilación pertenecientes a la impulsión de los climatizadores se van a usar transmisores de presión diferencial de la marca Honeywell [19]. Los modelos existentes son similares a los de otras marcas por lo que se utilizarán los de la marca Honeywell ya que presentan una mayor facilidad de integración en los controladores elegidos al ser de la misma marca reduciendo así costes de ingeniería.

Estas sondas tienen gran importancia en el sistema de control de los climatizadores del edificio ya que intervendrán de manera activa en los lazos de regulación de la presión de impulsión del aire en los conductos de los climatizadores evitando una posible rotura de éstos y controlando así la presión del aporte de aire en las distintas plantas del edificio. Atendiendo a estas medidas, el controlador actuará sobre los variadores de frecuencia variando la velocidad de giro de los ventiladores de los climatizadores. (Figura 3.3.9).



Figura 3.3.9

Estos transmisores de presión diferencial están equipados con un transductor de presión piezo-resistivo diseñado para que la presión a ser medida sea aplicada a una fina membrana de mono silicona. Los semiconductores resistivos de la membrana detectan esta deflexión mecánica y generan una señal de salida eléctrica. La señal del transductor de presión es convertida a una señal analógica de 0 a 10 V de corriente continua gracias a unos amplificadores operacionales de alta ganancia.

Existen distintos modelos de transmisores de presión diferencial atendiendo al rango de medida y la capacidad de sobrecarga.

En cuanto a las especificaciones generales, éstas son comunes para todos los modelos existentes y se describen a continuación:

- Precisan de alimentación auxiliar externa de entre 18 y 30 V de corriente alterna a 50/60 Hz o de entre 16 y 32 V de corriente continua.
- La señal de salida varía entre 0 y 10 V de corriente continua.
- La temperatura óptima de trabajo está entre los 0...50°C, mientras que la temperatura de funcionamiento se encuentra entre los -10...70°C.
- La humedad de funcionamiento se encuentra entre los 0...95% RH, sin condensación.
- El tiempo de respuesta para estas sondas es de 1 segundo con posibilidad de obtener una respuesta más rápida en 100 ms dependiendo de las necesidades para el control. Esta opción puede elegirse a través de un switch ubicado en el frontal de la sonda.
- Cuenta con terminales para conexión de cable de 1.5 mm cuadrados.
- Cuenta con una carcasa de protección IP54.
- Algunos modelos cuentan con un switch para modificar el rango de medida.

A continuación se muestra una tabla resumen con los modelos existentes atendiendo al rango de medidas y a la capacidad de sobrecarga (Figura 3.3.10):

order no.	pressure range		overload capacity	burst pressure
	1 ¹⁾	2		
DPT50/50D	-50...0...+50 Pa ²⁾	n.a.	20 kPa	40 kPa
DPT110/110D	-100...0...+100 Pa ²⁾	n.a.	20 kPa	40 kPa
DPT550/550D	-500...0...+500 Pa ²⁾	n.a.	20 kPa	40 kPa
DPT1100/1100D	-1 kPa...0...+1 kPa ³⁾	n.a.	40 kPa	70 kPa
DPT100/100D	0...100 Pa ²⁾	0...250 Pa ²⁾	20 kPa	40 kPa
DPT250/250D	0...250 Pa ²⁾	0...500 Pa ²⁾	20 kPa	40 kPa
DPT500/500D	0...500 Pa ²⁾	0...1 kPa ²⁾	20 kPa	40 kPa
DPT1000/1000D	0...1 kPa ^{3), 4)}	0...2.5 kPa ^{3), 4)}	40 kPa	70 kPa
¹⁾ default setting ²⁾ temperature error at 0...50 °C ≤ ± 5% of full scale (FS) ³⁾ temperature error at 0...50 °C ≤ ± 2.5% of full scale (FS) ⁴⁾ pressure displayed in kPa				

Figura 3.3.10

Es importante destacar que, atendiendo al modelo, los errores de medida para una temperatura de trabajo de entre 0...50 °C varía.



ELECCIÓN DEL MODELO DE SONDA DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Como se ha comprobado, la única diferencia entre los modelos existentes radica en el rango de medidas y en la capacidad de sobrecarga por lo que la elección del modelo se basará en estos factores.

Según las especificaciones del fabricante de los climatizadores, para los conductos montados en la instalación, la presión diferencial variará entre los 100...1500 Pa, por lo que el modelo más alto de un solo rango se queda corto ya que mide solo hasta los 1000 Pa. Por lo tanto se instalará el modelo más alto de dos rangos que tiene la posibilidad de elegir entre rango de 0...1000 Pa o de 0...2500 Pa.

Se instalarán un total de **dos sondas de presión diferencial** del modelo **DPT1000/1000D** en los dos conductos de impulsión de los climatizadores.

INTERRUPTOR DE CAUDAL PARA AGUA

Con el fin de asegurar la circulación del agua a través de ciertas tuberías de la instalación se van a instalar interruptores de caudal de agua de la marca Honeywell [20]. Dichos interruptores darán la confirmación del paso de agua a través de las tuberías en las que se instalen. Esta confirmación se traducirá en una **señal de tipo entrada digital** que será transmitida al controlador correspondiente.

Dichos interruptores se colocarán en las tuberías de entrada de agua a las calderas y en las tuberías de entrada de agua a los evaporadores de los grupos de frío. Estas señales tienen gran importancia dentro del sistema de control, en concreto en los sistemas de producción de agua fría y caliente. Sin la confirmación de paso de agua a través de dichas tuberías mediante los interruptores de flujo no se activarán ni las calderas ni los grupos de frío como medida de seguridad para evitar que estas máquinas funcionen en vacío provocando una seria avería en la instalación. Del mismo modo, estando activas calderas y grupos de frío, éstos se pararán de manera instantánea en el momento en que los interruptores de flujo dejen de confirmar paso de agua a través de estas tuberías, generando una alarma en el sistema.

Los interruptores cuentan con contactos eléctricos libres de tensión: común, normalmente abierto y normalmente cerrado. Son de tipo lengüeta para tuberías de entre 1 y 16 pulgadas.

Como características destacables, cuentan con una lengüeta fácilmente ajustable al tamaño de la tubería, y presentan gran facilidad de ajuste de sensibilidad. Se dispone de varias versiones neumáticos, antideflagrantes y resistentes al vapor.

Los modelos disponibles atienden al tamaño de la tubería, los márgenes de caudal y la presión máxima de trabajo.

El modelo MCDFS43 está diseñado para tuberías de 1 a 6 pulgadas y cuenta con una presión máxima de trabajo de 10.5 Kg/cm². Los márgenes de caudal para este modelo se muestran en la siguiente tabla (Figura 3.3.11).

Tubería		Ajuste mínimo \triangle				Ajuste máximo			
		Con Caudal		Sin Caudal		Con Caudal		Sin Caudal	
DN	Pulg.	l/min	m/seg	l/min	m/seg	l/min	m/seg	l/min	m/seg
25	1	22.68	0.67	13.60	0.40	38.55	1.17	34.77	1.03
32	1-1/4	37.04	0.63	21.16	0.36	63.50	1.08	56.70	0.97
40	1-1/2	48.00	0.60	26.46	0.33	86.94	1.08	73.71	0.92
50	2	71.06	0.54	35.53	0.27	123.98	0.94	90.72	0.68
65	2-1/2	91.85	0.49	43.84	0.23	160.27	0.82	141.75	0.75
80	3	113.40	0.39	45.36	0.15	196.93	0.67	174.25	0.60
100	4	150.06	0.30	74.84	0.15	277.83	0.55	242.67	0.48
125	5	221.88	0.28	110.75	0.14	434.70	0.55	347.76	0.44
150	6	299.36	0.26	149.68	0.13	627.48	0.54	464.94	0.41



Figura 3.3.11

El modelo MCDFS74 está diseñado para tuberías de una pulgada y cuarto a 16 pulgadas y cuenta con una presión máxima de trabajo de 21 Kg/cm². Este modelo presenta una carcasa de tipo NEMA hermética resistente a la corrosión, al agua y a la suciedad. Los márgenes de caudal para este modelo se muestran en la siguiente tabla (Figura 3.3.12).

Tubería		Ajuste mínimo \triangle				Ajuste máximo			
		Con Caudal		Sin Caudal		Con Caudal		Sin Caudal	
DN	Pulg.	l/min	m/seg	l/min	m/seg	l/min	m/seg	l/min	m/seg
32	1-1/4	18.14	0.31	11.34	0.19	29.10	0.50	22.30	0.38
40	1-1/2	23.81	0.29	13.60	0.17	37.80	0.47	26.46	0.33
50	2	37.42	0.28	22.30	0.17	59.72	0.45	41.58	0.31
65	2-1/2	57.83	0.31	35.91	0.19	89.58	0.48	64.26	0.34
80	3	92.23	0.32	58.21	0.20	134.19	0.46	110.37	0.38
100	4	125.87	0.25	79.75	0.16	232.09	0.46	142.50	0.28
125	5	167.83	0.21	117.18	0.15	317.52	0.40	192.78	0.25
150	6	212.81	0.19	184.08	0.16	433.94	0.38	270.27	0.24
200	8	393.12	0.20	336.42	0.17	793.80	0.40	495.18	0.25
250	10	695.52	0.22	593.46	0.19	1394.82	0.45	873.18	0.28
300	12	1092.42	0.24	933.66	0.21	2199.96	0.49	1372.14	0.31
350	14	1462.86	0.27	1220.94	0.22	2846.34	0.52	1871.10	0.35
400	16	1939.14	0.27	1617.84	0.22	3772.44	0.52	2479.68	0.35

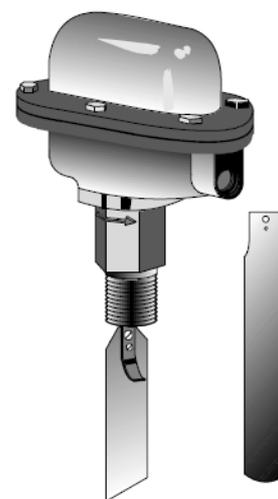


Figura 3.3.12

En las tablas “Con Caudal”, significa que el interruptor cierra en contacto normalmente abierto y abre el contacto normalmente cerrado cuando el caudal va aumentando hasta los l/min dados.

En las tablas “Sin Caudal”, significa que el interruptor vuelve a su posición de reposo cuando el caudal va disminuyendo hasta los l/min dados.

Se recomienda que todos los modelos se monten en vertical, es decir, con la cabeza arriba y las lengüetas hacia abajo, sobre tuberías horizontales y alejados de válvulas, codos, orificios, u otras restricciones, como mínimo cinco veces el diámetro de la tubería a cualquier lado del interruptor de flujo.

En el momento del montaje se deben tener las siguientes precauciones:

- Observar la flecha grabada en el cuerpo del interruptor de flujo, que debe coincidir con el sentido del agua dentro de la tubería.
- Adecuar la lengüeta al espacio donde va a ir alojada, tanto en altura como en anchura, para que no quede ni muy corta, ni tan larga que roce en su extremo con la tubería.
- Observar que el agujero para su alojamiento esta limpio de rebabas o residuos de mecanización, puesto que impedirían o dificultarían el movimiento de la lengüeta y por lo tanto, el buen funcionamiento del aparato.

ELECCIÓN DEL MODELO DE INTERRUPTOR DE CAUDAL

Como se ha explicado anteriormente, estos dispositivos van a proveer al sistema de una información esencial para la activación de calderas y grupos de frío, en definitiva, para la producción de agua fría y caliente de toda la instalación.

El factor principal que determina la elección de un modelo u otro es el tamaño de las tuberías en las que se van a instalar dichos dispositivos. Según las especificaciones del instalador de las tuberías, ambas, tanto las de entrada de agua a calderas como las de entrada de agua a evaporadores tienen un tamaño de 5 pulgadas.

Observando las especificaciones de cada modelo, podría usarse cualquiera de ellos dados que ambos son válidos para tuberías de 5 pulgadas, luego la elección del modelo se basará en otros factores como la resistencia del material a los agentes a los que está expuesto.

Se instalará el modelo MCDFS74 ya que presenta una carcasa de tipo NEMA hermética resistente a la corrosión, al agua y a la suciedad. De esta forma se evitará el deterioro del dispositivo dada la importancia de los procesos que desencadena. Se instalarán un total de 4 interruptores de caudal modelo MCDFS74, dos para la entrada de agua a las calderas y dos para la entrada de agua a los evaporadores.

PRESOSTATO DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Para conocer el estado de funcionamiento de los ventiladores de los climatizadores se van a instalar presostatos de presión diferencial. Estos dispositivos dotarán al sistema de la confirmación de que los ventiladores de los climatizadores están girando. Se instalarán presostatos de la marca Honeywell [21] que mandarán una señal a los controladores correspondientes del **tipo entrada digital**.

Estos dispositivos se colocarán a una distancia máxima de 5m desde la salida del climatizador en el conducto de impulsión. Las señales que generan son de gran importancia para el sistema ya que determinan el funcionamiento de los procesos de regulación de temperatura, regulación de humedad y regulación de presión de los climatizadores. Estando los ventiladores apagados, es decir, cuando no se reciba confirmación mediante dichos presostatos, estos procesos estarán inactivos dando lugar al cierre de las válvulas de las baterías de frío y calor, el apagado de los humectadores y los variadores a la mínima frecuencia. Los presostatos servirán también para generar las alarmas de disconformidad de los ventiladores de los climatizadores en el caso en que exista una discrepancia entre las señales generadas por estos dispositivos y las señales de marcha/parada de los mismos.

Existen distintos modelos atendiendo al rango de presiones disponibles, el escalado dentro del rango y el error de tolerancia al ajuste. Estos dispositivos están específicamente diseñados para la monitorización de filtros, ventiladores y compuertas cortafuegos. (Figura 3.3.13)

Los modelos disponibles son los siguientes:

- DPS200: Este modelo cuenta con un rango de presiones ajustable que varía entre los 20...200 Pa en una escala de 10 Pa y una tolerancia de ajuste de $\pm 20\%$.
- DPS400: Este modelo cuenta con un rango de presiones ajustable que varía entre los 40...400 Pa en una escala de 20 Pa y una tolerancia de ajuste de $\pm 15\%$.



Figura 3.3.13

- DPS500: Este modelo cuenta con un rango de presiones ajustable que varía entre los 50...500 Pa en una escala de 20 Pa y una tolerancia de ajuste de $\pm 15\%$.

- DPS1000: Este modelo cuenta con un rango de presiones ajustable que varía entre los 200...1000 Pa en una escala de 100 Pa y una tolerancia de ajuste de $\pm 15\%$.
- DPS2500: Este modelo cuenta con un rango de presiones ajustable que varía entre los 500...2500 Pa en una escala de 150 Pa y una tolerancia de ajuste de $\pm 15\%$.

Todos los modelos aguantan una sobrepresión de 10 kPa y están diseñados para funcionar en medios de aire, gases no inflamables y gases no corrosivos. Presentan unos contactos libres de tensión, un común, un normalmente abierto y un normalmente cerrado. Cuenta con dos tubos de plástico para su instalación en conducto según se muestra en el esquema. Su membrana es de silicona y cuenta con protección IP 54.

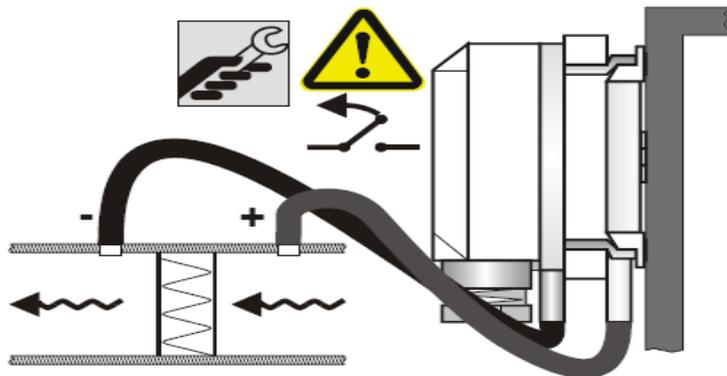


Figura 3.3.14

El tubo de plástico marcado como positivo se coloca el primero siguiendo la dirección de circulación del aire o antes del filtro en caso de que se utilice como presostato de filtro sucio (Figura 3.3.14).

ELECCIÓN DEL PRESOSTATO DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Según lo indicado en apartados anteriores, el fabricante de los climatizadores especifica que para los conductos instalados la presión variará entre los 100 y los 1500 Pa, por lo que se precisa de un presostato cuyo rango de presiones sea el adecuado. En este caso se instalará el modelo DPS500 ajustando el switch a 80 Pa. De esta manera si el ventilador arranca a la mínima velocidad, la presión estará en torno a 100 Pa provocando así la activación del presostato.

Se instalarán un total de **4 presostatos modelo DPS500**. Dos de ellos se instalarán en los conductos de impulsión de cada climatizador según lo indicado en líneas anteriores. Los otros dos presostatos se colocaran para detectar alarma por filtro sucio de ambos climatizadores.

TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL PARA TUBERÍA

Para conocer la medida de presión diferencial entre los colectores de impulsión y retorno tanto de la sala de calderas como de la sala de máquinas se van a instalar unos transmisores de presión de la marca Honeywell [22]. Estos transmisores mandarían la medida al controlador en forma de una señal de **entrada analógica**.

La medida obtenida de los transmisores servirá para conocer la demanda de agua fría y caliente de la instalación y de esta manera determinar la secuencia de activación de las bombas primarias tanto de la producción de calor como de la producción de frío. Los transmisores se colocarán en los colectores de impulsión y retorno de agua fría y agua caliente.

Estos sensores se utilizan para convertir medidas de presión simple, vacío o presión diferencial en señales eléctricas a partir de una membrana de metal o diafragma al cual se le aplica la presión a medir. Los movimientos dependientes de la presión aplicados a la membrana son transmitidos a un sensor de desplazamiento inductivo. El sistema electrónico convierte la posición de desplazamiento del sensor en una señal eléctrica proporcional a dicho desplazamiento.



Figura 3.3.15

Los transmisores cuentan con dos señales de salida de 0-10 V o de 0-20 mA. Estas salidas son configurables mediante un switch para obtener señales de 2-10 V o 4-20 mA. Ambas señales están conectadas al terminal de medida y se pueden usar de manera paralela.

Quitando la tapa que cubre el transmisor se accede a la interface del operador para ajustar el rango de operación (Figura 3.3.15).

Existen distintos tipos de transmisores en función del tipo de medida que entregan, el rango de medida, el rango de operación mínimo ajustable y la máxima presión admisible. Todos los modelos necesitan una tensión de alimentación de 24 V de corriente alterna o de 24 a 32 V de corriente continua. Su consumo máximo es de 1 W. Cuentan con una impedancia de carga de 750 Ω .

Los transmisores de presión de esta marca cuentan con una opción que le permite eliminar la presión estática existente para medidas de presión diferencial cuando la bomba primaria está parada o no existe flujo de agua en la instalación.

ELECCIÓN DEL MODELO DE TRANSMISOR DE PRESIÓN DE TUBERÍA

Es necesario conocer la medida de presión diferencial entre los colectores primarios de impulsión y retorno de las producciones de agua fría y caliente. Se puede optar por dos métodos distintos para la obtención de dicha medida. En primer lugar se puede optar por la instalación de dos transmisores de presión simple. Uno iría situado en el colector de impulsión y el otro en el colector de retorno. De esta manera se obtiene, por un lado la presión en el colector de impulsión y por otro lado la presión en el colector de retorno y la diferencia entre ambas medidas daría la presión diferencial con la que hay que trabajar.

La otra opción consiste en la instalación de un único transmisor de presión que dé de manera directa la presión diferencial entre ambos colectores.

Se optará por esta segunda opción debido a que reduce el número de transmisores necesarios para la obtención de la medida reduciendo así costes en material y en instalación eléctrica. Además la primera opción supondría necesitar una entrada analógica más por cada medida en las tarjetas de los controladores lo que conllevaría una mayor ingeniería tanto en integración como en programación debido a que hay que realizar la resta de ambas señales a través de software.

Los modelos disponibles para transmisores de presión diferencial se muestran en la siguiente tabla (Figura 3.3.16):

Operating range (nominal range) $P_0 - P_N$	Smallest adjustable operating range	Max. permissible pressure (approx. values)	Sensor material	Type
0 - 500 mbar	125 mbar	10 bar		FHBN 05 + ED 1
0 - 1 bar	250 mbar	15 bar	1.4305	FHBN 1 + ED 1
0 - 2.5 bar	0.7 bar	15 bar	+	FHBN 3 + ED 1
0 - 5 bar	1.25 mbar	15 bar	1.4571	FHBN 5 + ED 1
0 - 10 bar	2.5 mbar	25 bar		FHBN 10 + ED 1

Figura 3.3.16

Según las especificaciones del cliente, la instalación demandará en condiciones normales una presión diferencial constante entre los colectores de frío y calor de 1.5 bar, por lo tanto se elegirá el modelo FHBN 5 que cuenta con un rango de medida de entre 0 y 5 bar ya que el modelo anterior sería susceptible de quedar fuera de rango en caso de un funcionamiento anómalo de la instalación.

Se instalarán un total de **2 transmisores de presión modelo FHBN 5** entre los colectores de impulsión y retorno de la sala de calderas y grupos de frío respectivamente.

MEDIDOR DE NIVEL PARA DEPÓSITOS

Para conocer el nivel actual de gasoil en los depósitos de las calderas y el nivel de agua en las torres de refrigeración se van a instalar medidores de nivel de la marca Vega debido a que Honeywell no cuenta con medidores de nivel de estas características.

Dichos medidores servirán para conocer la altura que ocupa el producto dentro del depósito y poder así calcular el volumen de producto utilizando las medidas del depósito a través de software. Dichos medidores generarán señales del tipo **entrada analógica** que llegarán a sus respectivos controladores. A través de estas señales, se programarán alarmas que se activen cuando el volumen descienda por debajo de un punto de consigna modificable por el usuario.

Es un sensor de ultrasonido para la medición continua de nivel (Figura 3.3.17). Es apropiado para líquidos y sólidos en casi todos los sectores industriales, especialmente en la economía hidráulica y de residuales.

Desde el transductor acústico del sensor de ultrasonido se transmiten impulsos cortos de ultrasonido hacia el producto a medir. Estos son reflejados por la superficie del producto de almacenado y captados de nuevo en forma de ecos por el transductor acústico. El tiempo de duración de los impulsos de ultrasonido desde la transmisión hasta la recepción es proporcional a la distancia y de esta forma a la altura de llenado. La altura de llenado determinada de esta forma se transforma en una señal de salida correspondiente y emitida como valor de medición.

Cuenta con un sistema electrónico de cuatro conductores con alimentación externa de voltaje [23].

La gama de alimentación de tensión puede diferenciarse en dependencia de la ejecución del equipo. La transmisión de valores medidos se realiza a través de la salida de 4...20 mA.



Figura 3.3.17

Esta señal debe transformarse a una señal de tensión entre 0 y 10 V para el controlador pueda entenderla. Para ello se montará en paralelo, a la entrada de la señal analógica, en la tarjeta, una resistencia de 500 Ω para transformar los 4 mA en 2 V y los 20 mA en 10 V.

Se montarán un total de **4 medidores de nivel modelo VEGASON 61**. Dos de ellos para los dos depósitos de gasoil de las calderas y los otros dos para las dos torres de refrigeración existentes.

MÓDULOS DE PARED PARA CONTROLADORES EXCEL 10

Con el fin de posibilitar al usuario final la interacción con los fancoils de la instalación, se van a instalar unos módulos de pared que permiten al usuario poder modificar el modo de funcionamiento del fancoil, el punto de consigna y la velocidad del ventilador (Figura 3.3.18).

Estos dispositivos tienen gran importancia dentro de la instalación, ya que la mayoría de los fancoils (6 de los 12 que hay en cada planta), se encuentran dentro de despachos ubicados en los perimetrales de cada planta y permiten al ocupante tener un control personal e individualizado de la climatización del interior.

Es importante tener en cuenta que estos dispositivos deben ser de fácil manejo ya que están destinados a un grupo de usuarios que carecen de conocimientos en control y gestión de climatización.

Se van a instalar unos módulos de la marca Honeywell específicamente diseñados para los controladores XL10 de la misma marca que gobiernan los fancoils. Estos módulos se conectan de forma directa a los controladores y no precisan ningún tipo de configuración ni ingeniería de integración con ellos, lo que reduce costes en instalación y programación.

Los módulos de pared que se van a instalar cuentan con un sensor de temperatura encargado de transmitir dicho valor a su controlador homónimo para que éste actúe sobre las válvulas y velocidad del ventilador según las necesidades y modos de funcionamiento.

Cuentan con un potenciómetro que permite al usuario modificar el punto de consigna del controlador, introducido por software, en un rango de -5°C ... $+5^{\circ}\text{C}$ sobre dicho valor.



Figura 3.3.18

Disponen de un selector de velocidades del ventilador que presenta cinco posiciones distintas en función de los requerimientos del usuario. Estando en modo "Auto" la velocidad del ventilador es seleccionada de forma automática por el controlador que gobierna el fancoil en función de la temperatura ambiente, punto de consigna y modo de funcionamiento. Estando en esta posición, el ventilador podrá funcionar en las tres velocidades disponibles o estar parado. Estando en modo "0" se forzará al paro inmediato y continuo del ventilador independientemente de la orden que reciba a través del controlador. Estando en modo "1", "2" o "3" se forzará a que el ventilador funcione de manera continua en dichas velocidades, prevaleciendo estas órdenes sobre las recibidas a través del controlador.

Cuentan también con un botón de bypass que permite cambiar de forma manual el modo de funcionamiento del fancoil así como un LED que indica el modo de funcionamiento actual. Pulsando el botón un tiempo inferior a 1 segundo o un tiempo superior a 7 segundos el modo de funcionamiento del fancoil se pone en modo automático, luego es el controlador el que decide dicho modo. Estando en esta posición, el fancoil puede funcionar en modo ocupado, desocupado o standby. Pulsando el botón un tiempo entre 1 y 4 segundos se fuerza el modo de funcionamiento de “Ocupado”. Pulsando el botón un tiempo entre 4 y 7 segundos se fuerza el modo de funcionamiento de “Desocupado”. Estando en modo “Ocupado” el LED permanece iluminado de manera continua, estando en modo “Desocupado” el LED permanece apagado y estando en modo “Standby” el LED se ilumina de forma intermitente.

Debido a que se va a instalar un controlador EXCEL10 por cada fancoil existente en la instalación, se instalará un módulo de pared para cada EXCEL 10 existente. En total se instalarán un total de **72 módulos de pared** asociados a los 72 EXCEL 10 de la instalación.

RESTO DE SEÑALES DE ENTRADA DEL SISTEMA DE CONTROL (SEÑALES DE ENTRADA PASIVAS)

Se consideran señales de entrada pasivas a aquellas **entradas digitales** que no provienen de ningún tipo de sensor de instrumentación. En este sistema las señales van a provenir de **contactores eléctricos** a través de los cuales se activan elementos tales como bombas, calderas, grupos de frío, etc. Estas señales van a representar los **estados de funcionamiento** de dichos elementos dentro del sistema de control.

Los contactores eléctricos son unos dispositivos que cuentan con una bobina de excitación, un contacto magnético y una serie de contactos libres de tensión. Cuando la bobina de excitación recibe una tensión de alimentación (generalmente alterna de 220V, llamada tensión de activación) genera un campo magnético que actúa sobre el contacto magnético cerrando el circuito primario del contactor. A través de este circuito el elemento a activar recibe la tensión de alimentación necesaria para su funcionamiento (generalmente 380V) que inicialmente estaba interrumpida por este dispositivo. Al cerrar el circuito primario se actúa sobre los contactos libres de tensión cerrando los normalmente abiertos y abriendo los normalmente cerrados. A través de dichos contactos se obtendrán nuestras señales de estado de funcionamiento de cada elemento con lo cual se tendrá confirmación de que el contactor de dicho elemento ha entrado y está recibiendo su tensión de alimentación.

A través de estas señales se generarán las alarmas de disconformidad del sistema cuando exista una incongruencia entre esta señal y la de marcha/parada. De estos dispositivos se recibirán las señales de estado de funcionamiento de las calderas, grupos de frío, bombas de producción de calor y frío, ventiladores de torres de refrigeración, bombas de condensación, funcionamiento de humectadores y funcionamiento de variadores. **Existen por tanto, un total de 19 entradas digitales pasivas (estados).**

3.4 Elementos de salida (Actuadores).

En el siguiente apartado se describirán los elementos de salida (actuadores) necesarios para la gestión de los distintos sistemas físicos a controlar que servirán para que los controladores puedan actuar directamente sobre los distintos sistemas físicos a través de ellos en función de la información obtenida de los elementos de entrada, de la introducida por el usuario y de los algoritmos de programación residentes en los controladores consiguiendo de esta forma un control total de la instalación.

Las señales dirigidas a los elementos de salida serán principalmente de dos tipos: señales de **tipo digital** que en su mayoría serán de tipo pasivas como las señales de marcha/parada de las distintas máquinas y señales de **tipo analógico** como señales de regulación para apertura de válvulas de fancoils y climatizadores y regulación de apertura para compuertas.

Todos los elementos de salida serán de la marca Honeywell debido a que supondrá un mejor entendimiento entre éstos y los controladores así como una comunicación más rápida y fluida. De esta forma se conseguirá también reducir costes ya que las horas de ingeniería dedicadas a la integración de éstos en el sistema de control será mucho menor.

ACTUADORES DE COMPUERTA

Para poder actuar sobre las compuertas de los climatizadores, tanto en las de entrada y salida de aire exterior como en las de mezcla se van a instalar unos servomotores de la marca Honeywell para poder actuar sobre las lamas de dichas compuertas abriéndolas o cerrándolas según las necesidades de la instalación.

Estos elementos de salida serán de gran importancia dentro del sistema de control ya que gracias a ellos se asegurará la entrada mínima de renovación de aire exterior a la instalación y se llevarán a cabo los procesos de freecooling cuando las necesidades y condiciones exteriores lo requieran.

Existen principalmente dos tipos distintos de actuadores de compuerta que determinarán el tipo de señal de salida a utilizar.

Por un lado se encuentran los **actuadores de compuerta de dos posiciones** (Figura 3.4.1). Estos actuadores solo pueden mantener las compuertas en las posiciones de abierta o cerrada imposibilitando la capacidad de mantenerlas en posiciones intermedias. Para la gestión de este tipo de actuadores se utilizan señales de salida de tipo digital que permitirán o interrumpirán la entrada de alimentación a dichos elementos a través de ellas [24].

Dentro de este tipo de actuadores existen distintos modelos atendiendo a la tensión de funcionamiento y al par motor ejercido sobre el eje de giro de las lamas. Los dos tensiones de funcionamiento admitidas por sus respectivos modelos son de 24 Vac consumiendo 6W ó 9W en función del par motor del modelo (10Nm ó 20 Nm) y 230 Vac consumiendo 8W ó 10W en función del par motor del modelo (10Nm ó 20Nm).

Ambos modelos cuentan con una protección IP54 que les permite ser montados siguiendo cualquier orientación. Además poseen un indicador mecánico de posición que indica la apertura o cierre de la compuerta.

Los dos modelos cuentan con un selector del sentido de giro del motor que le permite girar en sentido horario o antihorario.



Figura 3.4.1

Ambos modelos cuentan con la posibilidad de adquirirlos con contactos mecánicos de final de carrera que indican a través de contactos libres de tensión (normalmente abiertos y normalmente cerrados) que el actuador ha llegado a su posición final o inicial. Estos contactos aportan una seguridad adicional a estos dispositivos ya que en caso de que se encasquillase alguna lama o fallase el motor, el sistema de control daría cuenta de ello al no recibir confirmación de fin de carrera dentro del tiempo máximo de apertura o cierre de la compuerta.

La orden de apertura o cierre de los actuadores se realiza a través de señales digitales provenientes del controlador. Estas señales no dejan de ser más que un contacto libre de tensión o relé que se encuentra abierto cuando la salida digital se encuentra en reposo (OFF) y cerrado cuando la salida digital se encuentra activa (ON). (Figura 3.4.2).

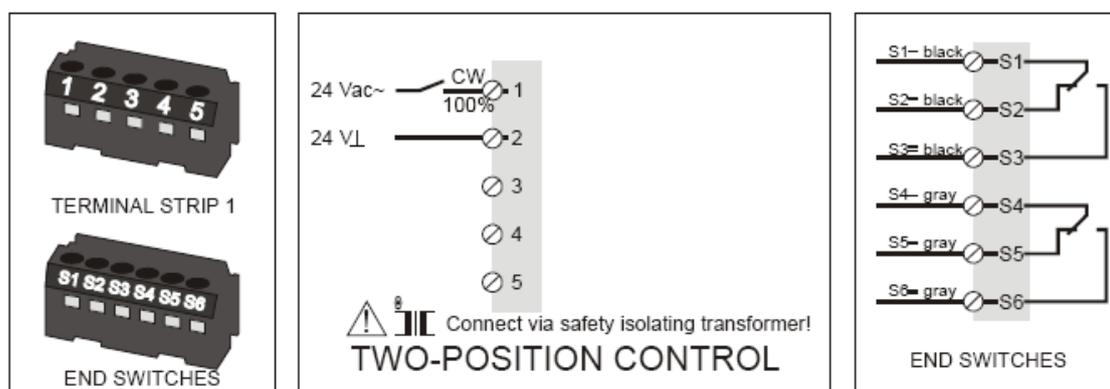


Figura 3.4.2

Las tarjetas de salidas digitales elegidas en apartados anteriores aguantan una carga máxima admisible de 250 Vac y 12 A, por lo que se puede pasar la tensión de alimentación de los actuadores directamente por las tarjetas sin necesidad de instalar relés auxiliares. Por tanto la instalación para llevar a cabo el control de los actuadores se realizará de la siguiente manera:

De la salida común de 24 Vac ó 230 Vac (según el modelo) del transformador que alimentará los actuadores se llevará directamente un cable hasta la entrada común de tensión de alimentación del actuador (conector 2).

La salida positiva del transformador que alimentará el actuador se pasará a través del módulo de relé de tarjeta de salidas digitales del controlador correspondiente y de ahí se llevará hasta la entrada positiva de alimentación del actuador (conector 1).

De esta manera, estando inactiva la salida digital correspondiente, el actuador no estará alimentado y permanecerá en su posición de reposo (abierto o cerrado según su montaje). Cuando se activa la salida digital se permite el paso de corriente eléctrica a través del cable positivo de alimentación del actuador por lo que éste queda energizado y girando hasta llegar a su posición final donde permanecerá hasta que quede de nuevo sin alimentación regresando a su posición de reposo.

Observando el esquema de la página anterior se observan seis conectores relativos a los marcadores mecánicos de fin de carrera de los actuadores. Los tres primeros conectores indican el estado de uno de los fines de línea y los otros tres conectores el estado del fin de línea opuesto. Ambos bloques cuentan con un conector común, un normalmente abierto y un normalmente cerrado.

El otro tipo principal de actuadores de compuertas son los **actuadores de tipo proporcional** (Figura 3.4.3). Estos actuadores son capaces de posicionar y mantener las compuertas en cualquier punto del recorrido entre sus posiciones de abierto y cerrado [25].

Estos dispositivos permiten un mayor control en cuanto a la regulación de los sistemas de freecooling de los climatizadores así como en los aportes mínimos de aire exterior. Permiten mantener las compuertas en posiciones intermedias dotando al sistema de algo más que un control todo/nada para dotarlo de un control proporcional permitiendo a la instalación adaptarse de una manera más rápida y eficaz a las necesidades.



Figura 3.4.3

Estos actuadores precisan, a parte de una tensión constante de alimentación, de una tensión de regulación que servirá para indicar al actuador la posición de apertura solicitada por el controlador.

La tensión de alimentación será una tensión constante de 24 Vac. La tensión de regulación se dará a través de una **salida analógica** proveniente del controlador. Esta señal será una tensión de corriente continua entre 0...10 Vdc correspondiéndose con los rangos de 0...100% de apertura de la compuerta.

Dentro de este tipo de actuadores se puede elegir también entre dos modelos atendiendo al par motor ejercido sobre el eje de las lamas de las compuertas. Estos dos modelos se corresponden con un par motor de 20Nm y 34Nm.

Ambos modelos cuentan con una protección IP54 que les permite ser montados siguiendo cualquier orientación. Además poseen un indicador mecánico de posición que indica la apertura o cierre de la compuerta.

Los dos modelos cuentan con un selector del sentido de giro del motor que le permite girar en sentido horario o antihorario.

Ambos modelos cuentan con la posibilidad de adquirirlos con contactos mecánicos de final de carrera que indican a través de contactos libres de tensión (normalmente abiertos y normalmente cerrados) que el actuador ha llegado a su posición final o inicial. Estos contactos aportan una seguridad adicional a estos dispositivos ya que en caso de que se encasquillase alguna lama o fallase el motor, el sistema de control daría cuenta de ello al no recibir confirmación de fin de carrera dentro del tiempo máximo de apertura o cierre de la compuerta.

ELECCIÓN DEL MODELO DE ACTUADOR DE COMPUERTA.

Con el fin de poder dotar a la instalación de una mayor capacidad de control y regulación se ha optado por instalar **actuadores de tipo proporcional** debido a que la instalación de actuadores de dos posiciones limitaría las posibilidades de funcionalidad de sistemas tan importantes como el sistema de freecooling de los climatizadores.

La capacidad de respuesta para adaptarse a las necesidades de la instalación será mucho más rápida en el caso de utilizar compuertas proporcionales.

El par motor necesario para mover el eje de las lamas de las compuertas según el fabricante es de 25 Nm por lo que se optará por instalar el modelo de 34 Nm.

Se instalarán por tanto un total de **6 actuadores** de compuerta marca Honeywell **modelo N34010** uno para la compuerta de entrada de aire exterior, otro para la compuerta de salida de aire exterior y la última para la compuerta de mezcla para los dos climatizadores existentes.

ACTUADORES DE VÁLVULA PARA CLIMATIZADORES

Para poder actuar sobre las válvulas de 3 vías de las baterías de frío y calor de los climatizadores se van a instalar unos actuadores de válvula de la marca Honeywell para permitir la apertura y cierre de éstas.

Quizás sean los elementos de salida más importantes de la instalación debido a que intervendrán de manera activa en el proceso de tratamiento de aire. Serán los encargados de suministrar o impedir el paso de agua fría o caliente a las baterías de los climatizadores, las cuales calentarán o enfriarán el aire en función del grado de apertura o cierre de dichos actuadores.

Al igual que ocurría con los actuadores de compuerta, existen dos tipos principales de actuadores de válvula para climatizadores. Los actuadores de dos posiciones y los actuadores proporcionales. Por los mismos motivos que determinaron la elección de actuadores de compuerta proporcionales, se elegirán **actuadores de válvulas proporcionales** (Figura 3.4.4) debido a que dotarán a la instalación de una mayor capacidad de control y regulación así como una mayor rapidez de respuesta a las necesidades de ésta.

Los actuadores proporcionales de la marca Honeywell proporcionan un control modulante a partir de una **señal de salida de tipo analógico** [26] de 0...10Vdc ó 2...10Vdc proveniente del controlador que se corresponden con las posiciones de cerrado y abierto de las válvulas de 3 vías. La dirección del movimiento es reversible mediante una clavija interna.

El giro del motor síncrono se convierte en un movimiento lineal del vástago mediante una transmisión de engranajes. El vástago del actuador se une al de la válvula con un retenedor. Un muelle integrado limita la fuerza del vástago a un valor determinado en fábrica en cualquier dirección. Unos microinterruptores desconectan el actuador cuando se alcanza la fuerza especificada.



Figura 3.4.4

Los actuadores sin muelle de retorno están equipados con un accionamiento manual, para usarse en caso de fallo de tensión. El accionamiento manual sólo es posible después de desconectar la alimentación. Para accionarlo, pulsar el botón de accionamiento manual hacia abajo y girar a derechas para que el vástago baje, o a izquierdas para que suba. Cuando el actuador vuelve a control automático, el



accionamiento manual se desbloquea automáticamente. En actuadores con muelle de retorno, el operador manual está bajo la cubierta.

Los modelos con muelle de retorno van a una posición de seguridad en caso de fallo de tensión. Los actuadores con muelle de retorno se suministran con una parada (para cerrar el botón) y permitir la conexión del botón del retenedor del vástago al vástago de la válvula en ausencia de tensión.

Los actuadores pueden estar equipados con una unidad de dos interruptores de indicación de final de carrera. Los puntos de interrupción son ajustables a lo largo de toda la longitud de la carrera del actuador. Los interruptores se pueden usar para accionar bombas o indicación remota de cualquier posición de carrera. Todos los actuadores son aptos para válvulas de 2 ó 3 vías.

Todos los modelos precisan de una tensión constante de alimentación (independiente de la tensión de modulación) de 24 Vac. El consumo varía en función del modelo seleccionado y va en consonancia con el tiempo de giro a 50 Hz. La carrera del vástago es, en todos los modelos, de 20mm.

A parte de diferenciarse en el consumo y tiempo de giro, los distintos modelos se diferencian en la existencia o no del muelle de retorno. Los modelos suministrados con muelle de retorno se dividen en dos tipos: el vástago actuador se extiende si falla la tensión o el vástago se retrae en caso de fallo de tensión.

Todos los modelos cuentan con una protección IP54, son resistentes a la corrosión y no precisan mantenimiento.

ELECCIÓN DEL MODELO DE ACTUADOR DE VÁLVULA PARA CLIMATIZADORES.

En cuanto a requisitos y especificaciones de funcionamiento referentes a las válvulas de tres vías de las baterías de los climatizadores, el cliente solicita que, en caso de fallo de tensión de alimentación de los actuadores, las válvulas deben cerrarse automáticamente como medida de seguridad.

Esta especificación determina la elección del modelo que incorpora muelle de retorno que se retrae en ausencia de tensión de alimentación (debido a que se trata de válvulas de 3 vías). Según las hojas de características presentes en el anexo, dicho modelo se corresponde con los actuadores de la marca Honeywell **ML7425B3004** que presentan un consumo máximo de 12 VA y un tiempo de giro a 50 Hz de 1.8 min.

Se instalarán un total de **4 actuadores** del modelo descrito para controlar las válvulas de las baterías de frío y calor de los dos climatizadores existentes.

ACTUADOR DE VÁLVULA PARA FANCOILS.

Con el fin de poder actuar sobre las válvulas de las baterías de frío y calor de cada fancoil de la instalación se van a instalar actuadores de válvula de la marca Honeywell específicamente diseñados para funcionar con los controladores EXCEL 10 elegidos (Figura 3.4.5).

La elección de estos actuadores frente al resto se basa en lo siguiente:

- Al ser actuadores específicamente diseñados para funcionar con los controladores EXCEL10, presentan una mayor fiabilidad en cuanto a su funcionamiento se refiere y garantizan un control muy preciso.
- Se conectan directamente al controlador a través de tres hilos (común, abrir y cerrar) sin necesidad de tarjetas adicionales. El propio controlador presenta dos salidas de tres conectores, una para la conexión del actuador perteneciente a la batería de frío y la otra para el actuador de la batería de calor. Con esto se consigue una reducción de costes en cuanto a instalación.
- No precisan herramientas para su montaje debido a que se fija al cuerpo de la válvula a través de un anillo roscado.
- No necesitan ningún tipo de integración mediante software con el controlador, lo que reduce costes en ingeniería.
- Presentan un tamaño muy reducido que permite su instalación en espacios pequeños.
- No necesitan alimentación auxiliar ya que la reciben a través del propio controlador.
- Están específicamente diseñados para el control modulante de válvulas lineales de pequeño tamaño (V5822/23 y V5832/33).
- Presentan una gran duración debido al hecho de no necesitar elementos mecánicos como potenciómetros indicativos de posición ni interruptores de fin de carrera y no precisan de ningún tipo de mantenimiento.
- Control por pulsos PWM. Presentan un posicionador de altas prestaciones, basado en microprocesador, que garantiza un posicionamiento muy preciso. Los controladores EXCEL10 a los que se conectan garantizan la posición precisa de la válvula contando el número de pulsos de control individuales que mueven la válvula de una posición a otra teniendo en cuenta los 150s que tarda la válvula en realizar todo su recorrido.
- Disponen de un auto ajuste de la posición de cierre por medio de una función de sincronización automática. Esto ocurre en el momento de recibir alimentación, y cada vez que el vástago alcanza el 0% y 100% de su recorrido, o una vez cada día.
- Cuentan con un marcador de posicionamiento.

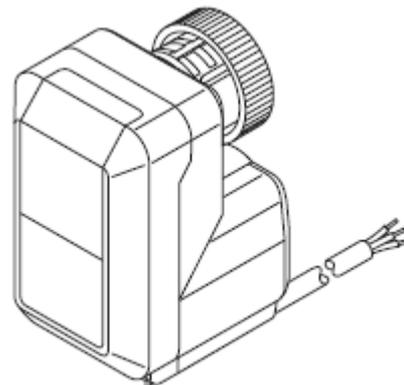


Figura 3.4.5

El movimiento del actuador eléctrico es producido por la rotación de un eje roscado que es accionado en ambas direcciones por un motor síncrono a través de un juego de engranajes. Un acoplamiento magnético limita el par del juego de engranajes y la fuerza del actuador.

A continuación se muestra un esquema de conexionado entre el controlador EXCEL 10 y los actuadores de válvula [27] (Figura 3.4.6):

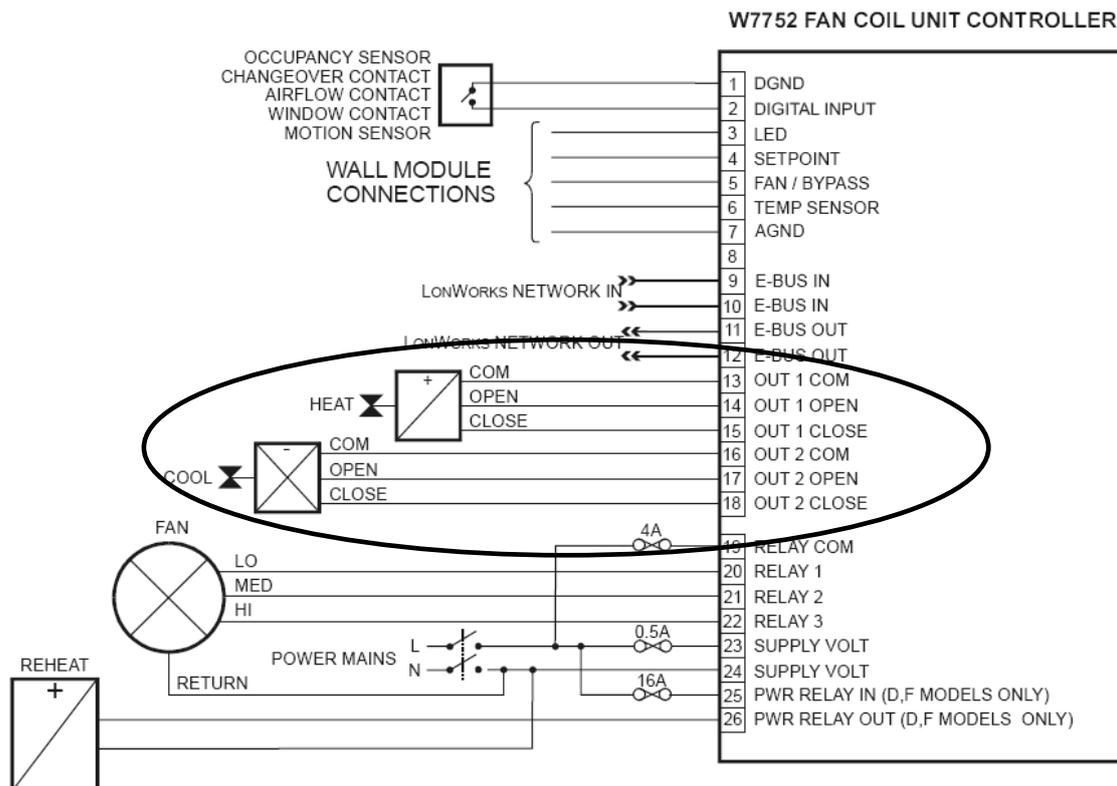


Figura 3.4.6

Los actuadores están disponibles para controladores EXCEL10 de 24Vac y 220Vac. En este caso se instalarán controladores de 220Vac por lo que se seleccionarán los actuadores en consonancia debido a que los pulsos PWM para su control los reciben de esta tensión.

Estos actuadores tienen un consumo máximo de 7 VA y cuentan con protección IP43.

Se instalarán un total de **144 actuadores de válvula** para fancoil de la marca Honeywell **modelo M7410C** para las válvulas de tres vías de las baterías de frío y calor de los 72 fancoils existentes.

RESTO DE SEÑALES DE SALIDA DEL SISTEMA DE CONTROL

Existen otra serie de señales físicas de salida que intervienen en el sistema de control y que no van dirigidas a ningún actuador mecánico como los anteriormente descritos. Estas salidas se utilizan como señales de regulación y órdenes de marcha/parada de elementos de campo pertenecientes al sistema de climatización y no al sistema de control propiamente dicho.

Existen dos tipos de señales de salida:

- Salidas analógicas: Se utilizan como señales de regulación de elementos de campo como son los humectadores y los variadores de los motores de los climatizadores. Los **humectadores** son unos dispositivos instalados en la impulsión de los climatizadores cuya función consiste en aportar humedad al aire mediante la producción de vapor de agua a través de unas lanzas situadas en los conductos de impulsión de los climatizadores. Estos elementos precisan de una alimentación externa de 220Vac y pueden configurarse para que funcionen de forma manual o de forma remota. Estando configurados como funcionamiento remoto precisan de una señal de regulación que determine el aporte de humedad (0%...100%). Esta señal debe ser una tensión de entre 0Vdc y 10Vdc. Esta tensión es suministrada a través de la tarjeta de salidas analógicas del controlador y sus valores estarán determinados por el lazo de control de humedad programado, en función del punto de consigna introducido por el usuario y la medida de humedad de retorno. Los **variadores de frecuencia** son unidades electrónicas de potencia para el control continuo de la velocidad de los motores de inducción de los ventiladores. Suministran, a partir de una red de corriente alterna de frecuencia fija, una tensión alterna trifásica de frecuencia variable para alimentar el motor del ventilador. Esta frecuencia puede variar entre los 0Hz (motor parado) y los 50 Hz de la red (motor funcionando a máxima velocidad). La frecuencia es seleccionada a través de una señal de control que puede oscilar entre los 0Vdc y los 10Vdc, correspondiéndose a 0 Hz y 50 Hz respectivamente. Esta señal está gestionada por el controlador en función del punto de consigna de presión de impulsión, la lectura del transmisor de presión y el algoritmo de programación del lazo de control.

Como señales de regulación (salidas analógicas) presentes en el sistema de control, se distinguen la regulación del aporte de humedad de los dos humectadores y la regulación de frecuencia de la tensión de salida de los variadores de los motores de los dos climatizadores.

Existen por tanto un total de **4 salidas analógicas** como las descritas.

- **Salidas digitales:** Se utilizan como señales de marcha/parada y permisos de activación de equipos y máquinas de campo pertenecientes al sistema de climatización. No es más que una salida de relé que abre y cierra un contacto magnético. A través de estas señales se comandarán los mismos contactores eléctricos de los que se obtenían las señales de estado de funcionamiento de los equipos de campo (Figura 3.4.7). Como se describió anteriormente, los contactores eléctricos necesitan una tensión de excitación (en el caso de los contactores existentes, 220Vac) para provocar la activación del mismo. Esta tensión de excitación será controlada por el sistema para poder activar/desactivar los contactores. Para ello se llevará el neutro de la red de alimentación de 220 V directamente al contactor y se hará pasar una de las fases por la tarjeta de salidas digitales del controlador que gobernará el dispositivo para después llevarla al contactor. Estando la salida digital inactiva, el contacto magnético permanecerá abierto quedando interrumpida la fase, por lo que el contactor no recibirá tensión de excitación y mantendrá abierto su circuito secundario encargado de alimentar el equipo a controlar. Cuando la salida digital se active, se cerrará el contacto magnético dando continuidad a la fase que alimenta el circuito de excitación del contactor. Éste cerrará su circuito secundario y alimentará al equipo en cuestión provocando su activación.

Como nota aclarativa, los contactores eléctricos son especificados y montados por los instaladores eléctricos de los equipos de campo, quedando esta función fuera del alcance del presente proyecto que se basa exclusivamente en el control de la señal de excitación y la recogida de los estados de funcionamiento de sus contactos libres de tensión.

A través de estas señales también se generarán las alarmas de disconformidad del sistema cuando exista una incongruencia entre esta señal y la de estado de funcionamiento. A través de estas señales se dará orden de marcha/parada a las calderas, grupos de frío, bombas de producción de calor y frío, ventiladores de torres de refrigeración, bombas de condensación, humectadores y variadores. **Existen por tanto, un total de 19 salidas digitales de marcha/parada.**

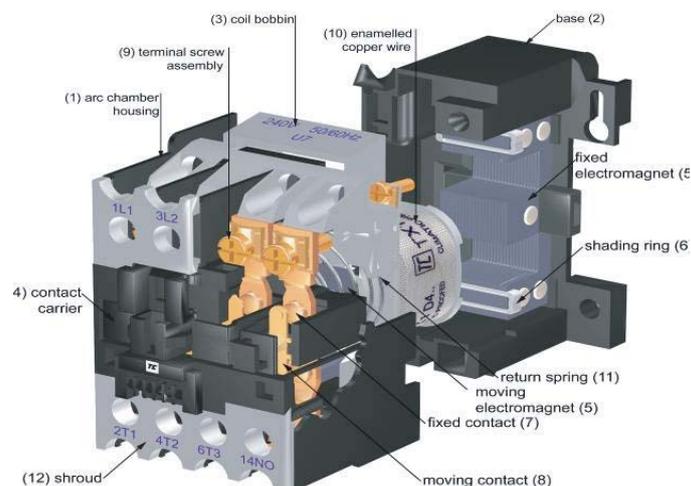


Figura 3.4.7

3.5 Elementos de comunicación y sistema SCADA.

Hasta ahora se han seleccionado y descrito los equipos necesarios para dotar a la instalación de climatización de un sistema de control capaz de regular de manera automática todos sus procesos y funcionar de forma autónoma.

Los elementos que se describen a continuación se utilizarán para establecer la comunicación entre el sistema de control y un sistema SCADA de gestión centralizado capaz de ofrecer toda la información de la instalación de forma gráfica y en tiempo real y permitir al usuario interactuar con todos los procesos y elementos del sistema.

Estos elementos son el bus de comunicaciones y el adaptador de red y el sistema SCADA.

BUS DE COMUNICACIONES Y ADAPTADOR DE RED

Los controladores de la marca Honeywell seleccionados comunican con sus tarjetas de entradas/salidas, entre sí y con otros controladores de la misma marca a través de C-Bus.

El C-bus es un protocolo de comunicación cerrado propiedad de Honeywell que solo permite comunicación entre equipos de esta marca. La velocidad de transmisión para este bus va de los 9,6 Kbaud a los 76,8 Kbaud. La longitud máxima del bus es de 1200m.

El C-Bus permite comunicar hasta un máximo de 30 controladores por bus. En este caso se instalarán un total de cinco controladores, debido a que los controladores de los fancoils cuelgan de uno de los controladores principales que gestionará los horarios de éstos y servirá para establecer la comunicación con el resto de controladores del sistema y el SCADA.

Por tanto será suficiente la instalación de un único C-Bus debido a que no se supera la limitación ni en distancia de cable ni en número de controladores.

Se aconseja que el C-Bus cosa en serie todos los controladores evitando, en la medida de lo posible, estrellas que pueden interferir en la comunicación, es decir, se debe salir con el C-Bus del primer controlador para entrar al siguiente, del cual se saldrá al siguiente, y así sucesivamente hasta llegar al último controlador del que se saldrá con el bus hacia el sistema SCADA.

El sistema SCADA es un software informático compatible para correr en cualquier ordenador que presente los requisitos requeridos por el programa. En esta instalación, el software SCADA de Honeywell se montará en unas máquinas suministradas por el cliente de la marca DELL modelo PowerEDGE r310 que cumplen con los requisitos requeridos.

Para llevar a cabo la comunicación entre los controladores y el sistema SCADA es necesario instalar un adaptador que sirva como interface entre ambos.

BUILDING NETWORK ADAPTOR (BNA)

La BNA (Figura 3.5.1) es un dispositivo que permite la comunicación y conexión de un bus de comunicación de controladores Honeywell (C-Bus) con una red LAN Ethernet estándar 10/100 Base. Este dispositivo permite la comunicación entre los controladores y el sistema SCADA.



Figura 3.5.1

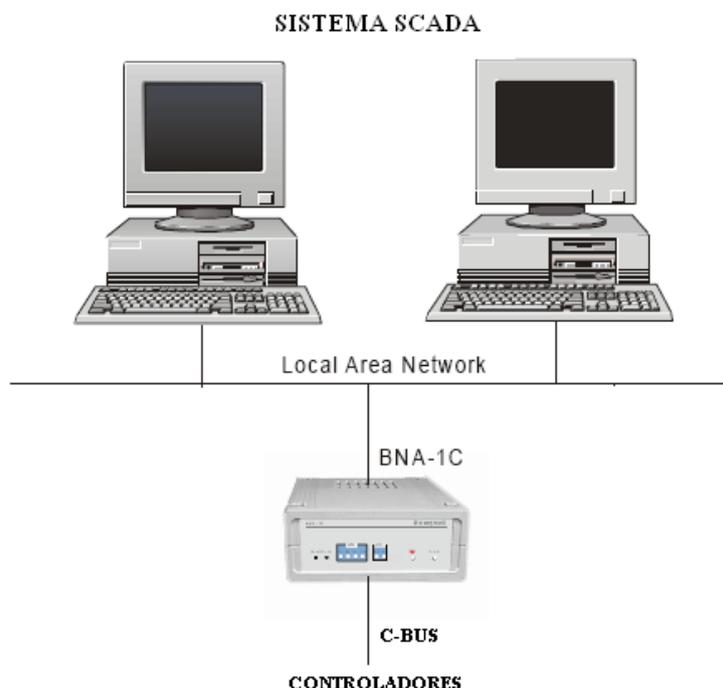


Figura 3.5.2

El C-Bus proveniente de los controladores se conectará a la entrada de la BNA para obtener una salida que pueda transmitirse a través de una red local Ethernet. A dicha red se conectarán los equipos en los que se instalarán el software informático del sistema SCADA. A través de la red Ethernet se puede establecer la comunicación entre los controladores y los distintos equipos que cuelguen de dicha red a través de protocolo TCP/IP utilizado por el SCADA y soportado por la BNA. Este dispositivo tiene la capacidad de adaptar el sistema de control a un amplio rango de entornos y configuraciones de red (Figura 3.5.2).

Los modelos de adaptadores de red disponibles se diferencian en el número de canales que son capaces de gestionar. Cada canal se corresponde con cada uno de los buses independientes que existen en la instalación. En este caso existe un único bus de comunicaciones por lo que se elegirá la BNA de 1 canal.

La BNA [29] cuenta con indicadores luminosos de información que muestran la actividad de comunicación de la red LAN, el tráfico en la comunicación del bus de campo (C-Bus) y el estado de funcionamiento de la BNA.

Cuenta con un botón de reset que inicializa la BNA de la misma manera que ocurriría si se le quitase tensión y se le volviese a dar. Este botón es muy útil en el momento en que se caigan las comunicaciones o el bus se sature.

La BNA cuenta con un microprocesador de 32 bits AMDSC 2200 de 266 MHz. La transferencia de datos a través de la red Ethernet se realiza entre 10/100 Mbit/sec. Dispone de una memoria Flash de 32 MB y un puerto RS-232 aislado para permitir la comunicación entre la BNA y un PC para realizar las tareas de configuración de ésta y asignación de su dirección IP.

Necesita una tensión de alimentación de 24 V de corriente alterna o continua y presenta un consumo máximo de 12 VA.

SISTEMA ESCADA (EBI)

Como sistema SCADA se instalará el software informático EBI (Enterprise Building Integrator) de la marca Honeywell. Este SCADA permite integrar, al mismo tiempo, sistemas de control de climatización, de protección contra incendios, de seguridad, CCTV, control de accesos, etc. Así como integrar cualquier dispositivo de cualquier marca ya que permite integraciones de tipo LON, OPC, Modbus, etc.

Presenta un entorno gráfico muy agradable e intuitivo basado en páginas “html” donde se representan los distintos sistemas que intervienen dentro del proceso de climatización del edificio con animaciones que representan los equipos de control, de campo y todas las señales del sistema.

Este SCADA presenta una amplia gama de prestaciones que hace que el sistema de control sea mucho más versátil y cuente con muchas más opciones, en cuanto a la gestión, de las ofrecidas por un sistema de control basado exclusivamente en la existencia de los controladores. Algunas de estas prestaciones son la posibilidad de gestionar y programar puntos de alarma, programar históricos, tendencias, posibilidad de crear “Scripts” para interactuar entre distintos sistemas sin la necesidad de establecer una comunicación física entre ellos, etc.

A continuación se muestra una pequeña **descripción del sistema SCADA EBI [30]**:

Introducción

El sistema Scada EBI (Enterprise Buildings Integrator) es una Estación de Trabajo para el control y supervisión de sistemas. La Estación presenta la información a través de una serie de gráficos representando las señales de cada uno de los dispositivos que se desean gobernar o visualizar su funcionamiento.

Sus particulares características le permitirán introducirse en el mundo del EBI de forma inmediata y segura:

Gráfica, aprovecha al máximo el poder gráfico de Windows, proporcionando acceso visual a través de gráficos específicos de cada uno de los sistemas integrados.

Segura, permitiendo definir perfiles de Usuario con las opciones disponibles para cada uno de ellos.

Gestión de cambios; podrá conocer los cambios que se han producido en cada uno de los sistemas, almacenándose en históricos para su posterior análisis.

Integración de distintos sistemas, EBI puede interactuar con sistemas de otras marcas comunicándose con ellas con los protocolos estándar del mercado. Esto hace que una estación no tenga límites para comunicarse con otros sistemas.

Informes, creación de informes a medida en función de las señales que se quieran analizar de cada uno de los sistemas.

Gestión de eventos y alarmas; control rápido de visualización de alarmas, indicándo el lugar y dispositivo alarmado.

Horarios; permite definir el modo de funcionamiento de la estación en función de horarios. (Semanal, Festivos, etc).

Identificación del usuario y claves de acceso.

Existen distintos niveles de seguridad para operadores, algunos de los cuales solo permiten realizar funciones primarias como supervisión, reconocimiento de alarmas y generación de informes evitando que el personal que no posea los conocimientos suficientes pueda acceder a la manipulación de señales dando lugar a un funcionamiento incorrecto de los procesos.

EBI se inicia y presenta un cuadro de diálogo solicitando su nombre de usuario y su contraseña. Esta información es indispensable para acceder al Panel de Control de la estación.

Cuando se inicia la aplicación EBI presenta el Panel de Control. El Panel de Control es el eje sobre el que gira toda la aplicación; desde este punto podrá acceder a cualquiera de las distintas opciones que la conforman.

Panel de control (Figura 3.5.3)

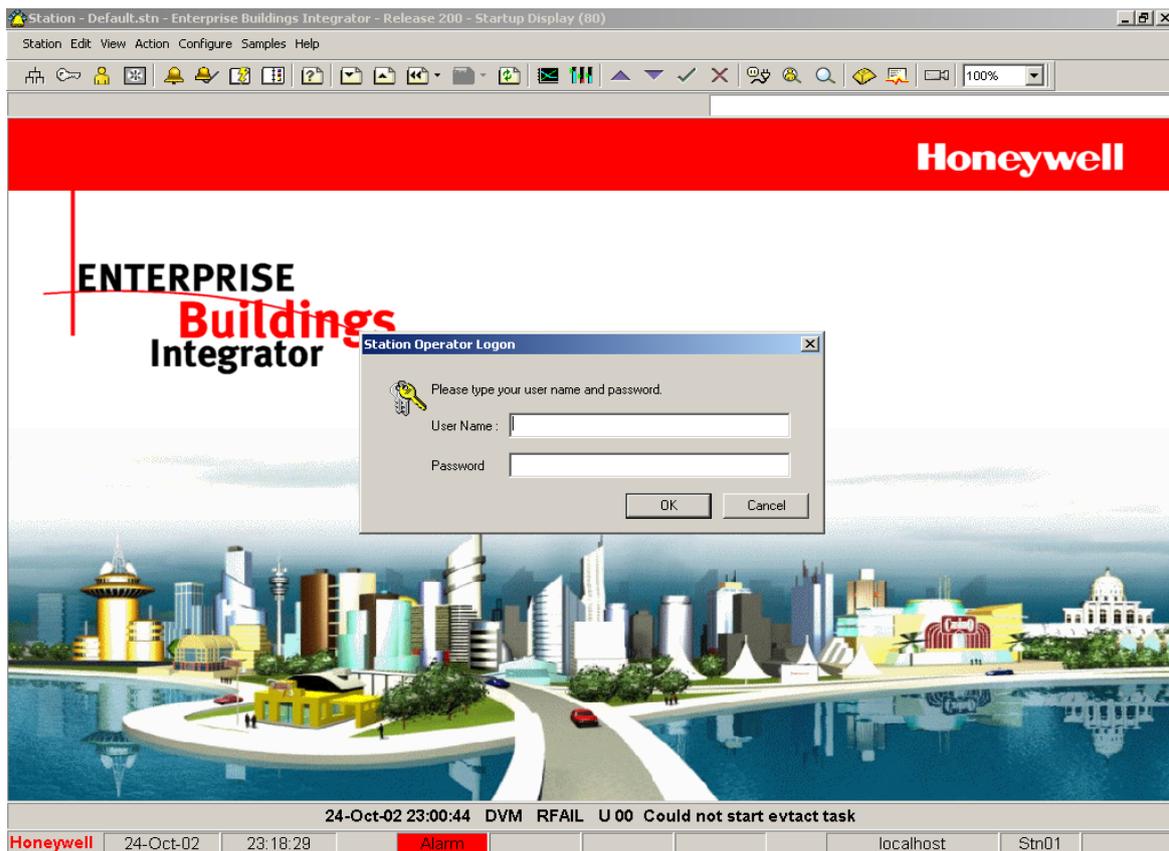
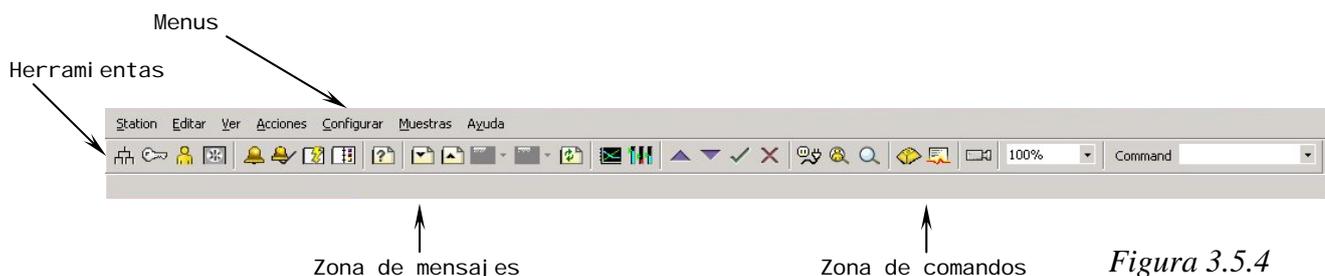


Figura 3.5.3

Área de funciones (Figura 3.5.4)

Está compuesta por la barra de menús, la barra de herramientas, zona de mensajes y zona de comandos. Desde esta área se puede acceder a todas las funciones disponibles en la estación.



La barra de herramientas proporciona un acceso rápido a las funciones que se utilizan en la estación frecuentemente. La pulsación sobre un botón de esta barra es equivalente a seleccionar la opción adecuada de la barra de menús. Existe una parte izquierda en la que aparecerán mensajes, en función de la ubicación donde nos encontremos en la aplicación y en la parte derecha se podrán ejecutar comandos.

Área de trabajo

Compuesta por la parte central de la pantalla, en ella se mostrarán los gráficos de los sistemas y las distintas pantallas de configuración de la estación.

Área informativa (Figura 3.5.5)

El área informativa contiene la **barra de alarmas** y la **barra de estado**

Barra de alarmas

10-Mar-05 11:00:20 GALERIAS INC 360116_E51232_FA08_sta ALARM U 00 DE Camara Norte A SEI-2 Alarma									
Honeywell EBI R300.1	10-Mar-05	12:58:41	Alarma				svcvva	Stn02	Mngr

Barra de estado

Figura 3.5.5

La barra de alarmas muestra el mensaje de alarma más reciente no reconocido.

La barra de estado ofrece la siguiente información:

- Fecha y hora del servidor.
- Existencia de alarmas en el sistema.
- Estado de las comunicaciones.
- Indicador de algún mensaje
- Indicador de existencia de errores en descargas
- Nombre del servidor
- Número de la estación
- Nivel de seguridad

Puntos y programación de puntos

El sistema SCADA EBI da la posibilidad al operador de poder acceder al detalle de todos los puntos (señales) del sistema y modificar de forma manual su valor (Figura 3.5.6). Del mismo modo permite generar históricos de cada punto para registrar la evolución de los valores de éstos a lo largo del tiempo.

Para cada punto en el sistema que será usado en la supervisión de un proceso o valor, se necesita definir la "entrada" (por ejemplo, la lectura de un dispositivo del campo) para que el servidor sepa qué tipo de información tiene que leer del Procesador que está regulando ese proceso o valor.

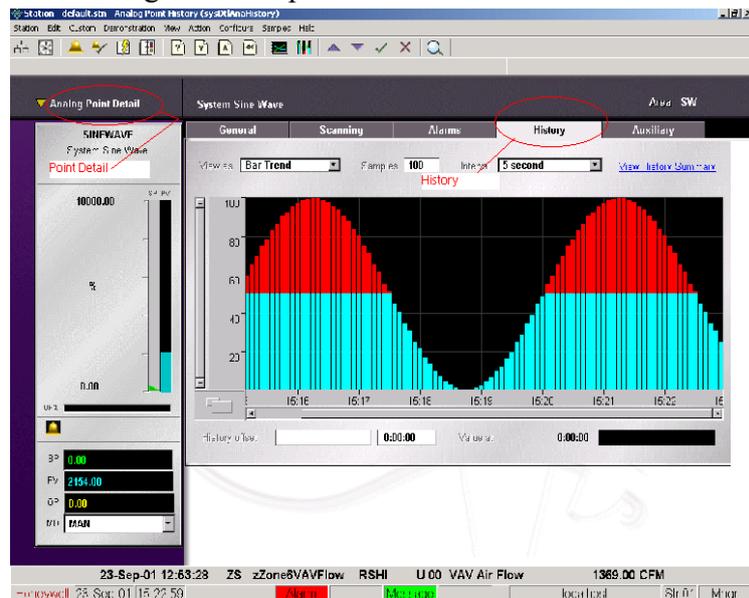


Figura 3.5.6

Esta entrada es conocida en EBI como "Variable de Proceso" o PV (process variable) de un punto, porque representa valores que son una función del propio proceso (o del procesador o de ambos). Un operador no puede cambiar las variables del proceso.

OP es "la salida" -el contrario de PV que es "entrada"- OP representa valores que pueden cambiarse por un operador o por otro componente del sistema. El OP de un punto sólo puede cambiarse por un operador si el modo de ese punto se ha puesto "manual".

El modo del estado de un punto se usa para determinar si a un operador se le permite controlar el valor de la salida. Los dos modos comunes son: "manual" y "automático".

Además de esto los puntos analógicos también tienen el Punto de Consigna o setpoint (SP) que puede usarse para leer y escribir un valor analógico en un procesador. Los puntos de consigna son representados en unidades de ingeniería y se usan a menudo para representar el valor de operación deseado para un proceso (por ejemplo, la temperatura ambiente) o el punto de consigna de un lazo de control.

Alarmas y gestión de alarmas

Una alarma se genera siempre que ocurre una condición anormal o una violación de la seguridad.

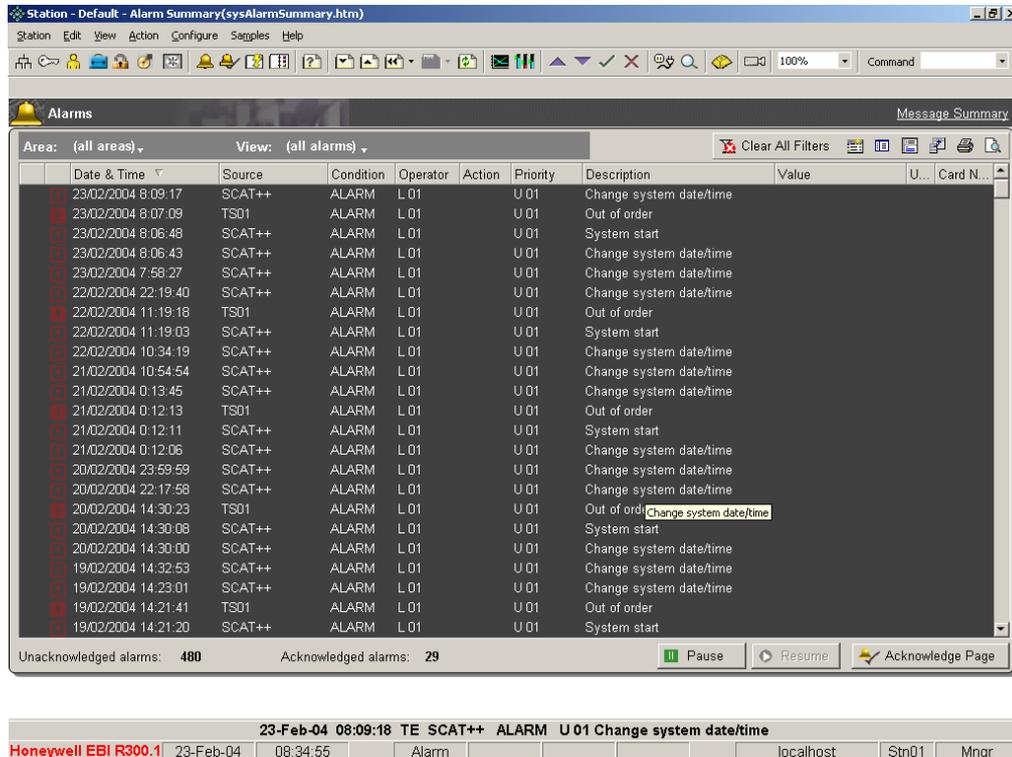


Figura 3.5.7

Las alarmas están típicamente asociadas con puntos, por el ejemplo, el valor de un punto analógico que representa un sensor de temperatura, puede estar por encima o por debajo del rango programado.

También pueden generarse las alarmas cuando ocurre cualquier evento importante, como un fallo de comunicaciones.

Nota: El campo Alarma en la Línea inferior de Estado parpadea en rojo si hay cualquier alarma no reconocida. Las alarmas se listan en el Resumen de Alarmas (Figura 3.5.7) usándose una línea por cada alarma con una descripción de la misma.

A continuación se muestra un gráfico ejemplo, en el panel de control del EBI, de uno de los procesos del sistema de climatización integrado perteneciente a la sala de calderas donde aparecen representados de forma gráfica todos los elementos y señales de dicho sistema (Figura 3.5.8). Tanto las representaciones gráficas de las bombas, como las de las calderas cuentan con animaciones que indican cuando se encuentran funcionando o paradas. Del mismo modo se puede acceder al detalle de cada una de las señales del sistema picando “doble click” sobre cada una de ellas donde se podrán manipular, en función del nivel de seguridad, y obtener toda la información de ellas, como se explicó anteriormente.

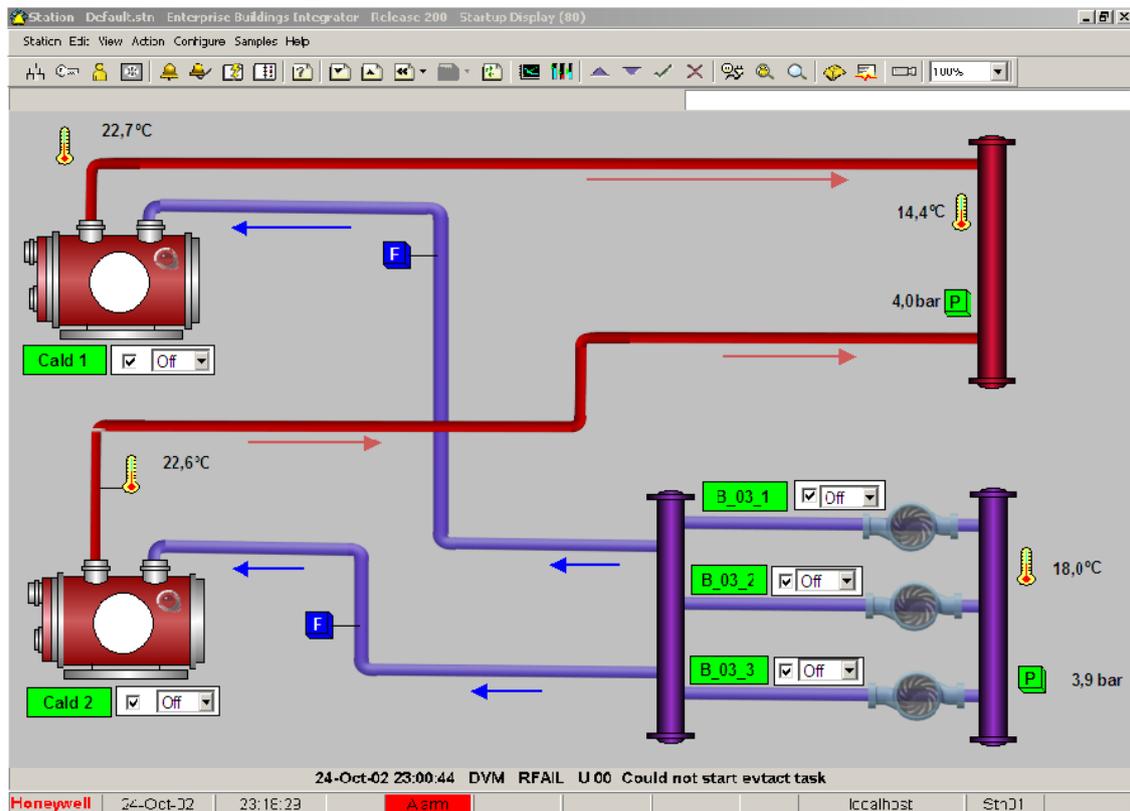


Figura 3.5.8



4

IMPLEMENTACIÓN. Cálculo parámetros PID.

Para programar los lazos de regulación de los distintos procesos del sistema de climatización se van a utilizar reguladores PID. La herramienta de programación para los controladores cuenta con módulos preprogramados entre los que se encuentran los reguladores PID. Se deben definir los parámetros de los PID (ganancia, tiempo integral y tiempo derivativo) en función del sistema o proceso a regular.

Se utilizarán un total de 6 reguladores para controlar los 2 lazos de regulación de la temperatura de retorno, los 2 lazos de regulación de la humedad de retorno y los dos lazos de la regulación de la presión de impulsión de los dos climatizadores existentes.

Es habitual encontrar en la industria procesos que hay que regular y del que no se conoce su función de transferencia, o en general la relación entre la entrada al mismo (por ejemplo la posición de una válvula que abre o cierra el paso de un líquido que refrigera la temperatura de un depósito) con la salida del proceso (p.ej. la temperatura a la que está el depósito).

En primer lugar se definirá un método de identificación de los parámetros del modelo matemático del proceso [1]. En segundo lugar se sintonizará el regulador que controle el proceso. El control elegido ha sido un control tipo PID mediante un método manual de ensayo error basado en la teoría de Nyquist. Para sintonizar un PID basta

normalmente con disponer de un modelo de primer o segundo orden. Modelo que se ha obtenido anteriormente mediante la aplicación de un método gráfico basado en la respuesta del proceso a un escalón en lazo abierto.

Identificación de la respuesta.

La forma de obtener empíricamente la función de transferencia del modelo matemático que representa la relación entrada-salida del proceso consiste en obtener la señal de salida o respuesta del mismo en lazo abierto ante un cambio brusco o escalón en la referencia. El proceso para realizarlo se puede resumir en el siguiente algoritmo:

- Se dispone el lazo en modo manual.
- Tras esperar a que se estabilice la variable controlada (PV), se varía de forma significativa y brusca (escalón) la variable manipulada (MV)
- Se capta la respuesta de la PV y se plasma sobre papel, o en un soporte electrónico.
- La respuesta a un escalón es una forma sencilla y cómoda de caracterizar la dinámica del proceso, ya que:
 - Se excita el sistema sobre todo en las bajas frecuencias, que son normalmente las que interesan para obtener un modelo empírico para el control.
 - La interpretación física es simple.
 - La realización es sencilla.
- La identificación por este método requiere que no interfiera durante el ensayo ninguna perturbación significativa.
 - El modelo persigue obtener una relación matemática entre las señales de entrada y salida.
 - Una perturbación afecta a la salida, superponiendo su efecto al del MV.
 - Si existe una perturbación, el modelo describirá erróneamente el comportamiento de la PV como originado únicamente por el MV.
- El retraso del proceso debe quedar reflejado en el modelo:
 - En muchos casos, el proceso no comienza a reaccionar a la variación del MV hasta transcurrido un cierto tiempo, por ejemplo debido a un efecto de transporte de materia o de energía.
- El modelo es aplicable para un proceso inestable o integrador, aunque normalmente se trata de procesos estables o no oscilatorios (Figura 4.1.1).

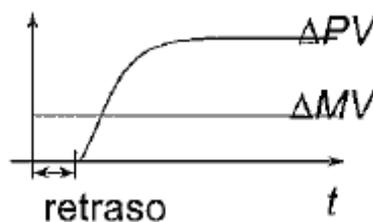


Figura 4.1.1

Modelo de representación matemática entre la señal de entrada y salida.

Existen muchos tipos de modelos, para según sea el proceso a identificar, en este caso se utilizará el modelo de los 4 parámetros para procesos estables no oscilatorios (modelo de Van Der Grinten) aplicable al sistema.

Este modelo tiene una ganancia, 2 constantes de tiempo y un retraso puro. Tras el retraso L , el modelo reacciona según una doble exponencial (suma de 2 exponenciales). Se pueden obtener los parámetros de una manera gráfica (Figura 4.1.2):

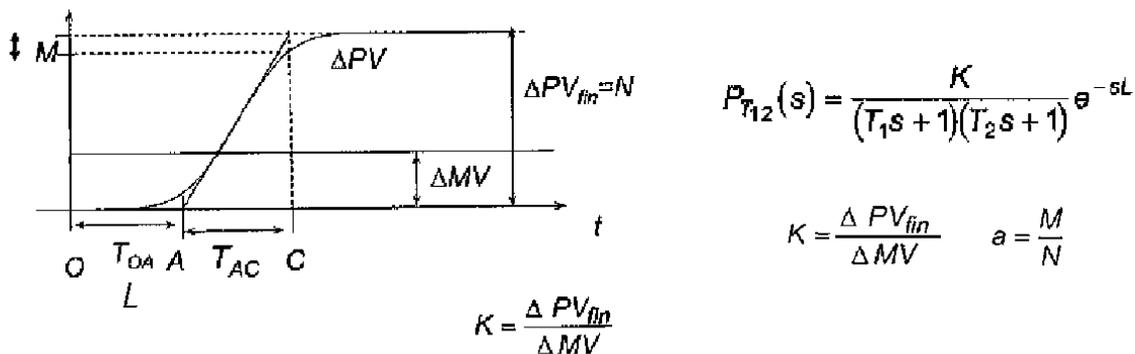


Figura 4.1.2

Los tres parámetros T_1 , T_2 y L vienen dados por las fórmulas siguientes (Figura 4.1.3):

$$T_1 = T_{AC} \frac{3 \cdot a \cdot e - 1}{1 + a \cdot e} \quad T_2 = T_{AC} \frac{1 - a \cdot e}{1 + a \cdot e}$$

$$L = T_{OA} - \frac{T_1 T_2}{T_1 + 3T_2}$$

Figura 4.1.3

A continuación se mostrará un ejemplo para el cálculo matemático de un proceso industrial de regulación que será aplicable a los procesos de este sistema. La respuesta del sistema en lazo abierto ante una entrada escalón queda reflejada en la siguiente gráfica (Figura 4.1.4):

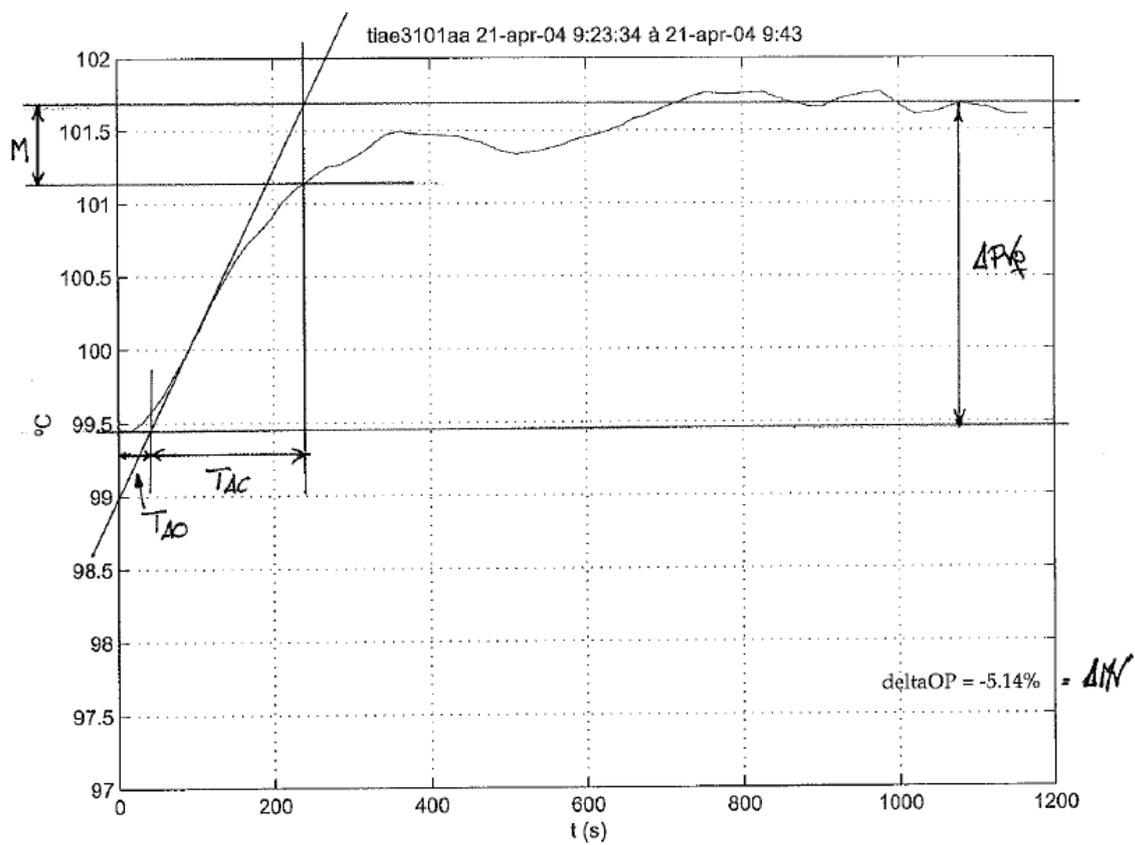


Figura 4.1.4

De la gráfica se obtienen los siguientes datos:

$$TAC = 29 \text{ mm} \rightarrow 236,7 \text{ s}$$

$$TAO = 5 \text{ mm} \rightarrow 40,8 \text{ s}$$

$$M = 12,5 \text{ mm} \rightarrow 0,54 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t = 24,5 \text{ mm} \rightarrow 200 \text{ s}$$

De tal forma que los 4 parámetros del modelo quedan (Figura 4.1.5):

$$K = \frac{\Delta PV_f}{\Delta MV} = \frac{2,22}{-5,14} = -0,43^\circ C/\% \quad \text{y} \quad a = \frac{0,54}{2,22} = 0,24$$

$$T_1 = 236,7 \frac{3 \cdot 0,24 \cdot e - 1}{1 + 0,24 \cdot e} = 137,1s$$

$$T_2 = 236,7 \frac{1 - 0,24 \cdot e}{1 + 0,24 \cdot e} = 49,79s$$

$$L = 40,8 - \frac{137,1 \cdot 49,79}{137,1 + 3 \cdot 49,79} = 16,97s$$

Figura 4.1.5

Por lo tanto el modelo de 4 parámetros es (Figura 4.1.6):

$$P_{T_{12}}(s) = \frac{-0,43}{(137,1 \cdot s + 1) \cdot (49,79 \cdot s + 1)}$$

Figura 4.1.6

Sintonía del regulador PID.

Las tres acciones básicas que proporciona un regulador PID son:

- Acción P: Retroalimentación de base.
- Acción I: Eliminación del error estático.
- Acción D: Anticipación del futuro de la PV.

En muchos casos, un PID clásico puede mejorarse con una cuarta acción, la de adelanto (Feed-forward, FF). Se puede ver la estabilidad o inestabilidad de un sistema a partir de la teoría de Nyquist, que realiza una interpretación en el dominio de la frecuencia de la función de transferencia (Figura 4.1.7):

- Sea una señal sinusoidal MV aplicada a la entrada de un proceso lineal cuya función de transferencia es $T(s)$.
- La salida del proceso será una señal, también sinusoidal, que amplifica la señal de entrada en un factor $|T(j\cdot\omega)|$ y la retrasa (desfase) un ángulo $\angle T(j\cdot\omega)$.

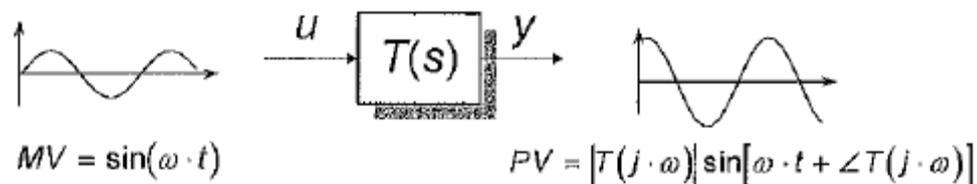
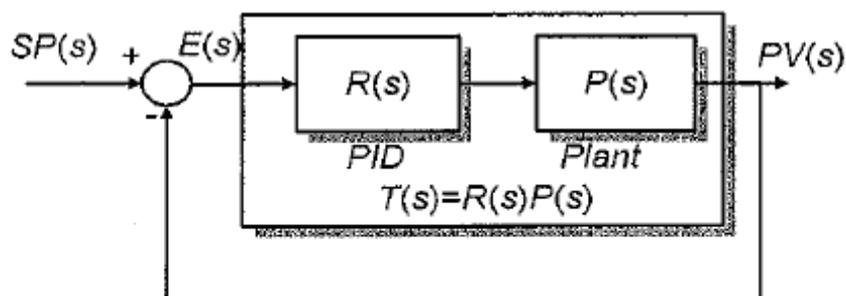


Figura 4.1.7

El lugar de Nyquist es la representación gráfica de $T(j\cdot\omega)$ para todos los valores positivos de ω . Sintetiza la respuesta del proceso para toda la gama de frecuencias. Si el lugar de Nyquist de la función $T(j\cdot\omega)$ corta al eje real siempre a la derecha del punto $(-1,0)$, el sistema es estable. Si por el contrario corta el eje real por la izquierda, el sistema es inestable.

El teorema de Nyquist permite analizar la estabilidad de un proceso regulado por un PID. Basta con utilizar como $T(s)$ la función de transferencia combinada del regulador y del proceso (Figura 4.1.8).



$$T(j\omega) = K \left[1 + \frac{1}{j\omega T_I} + j\omega T_D \right] P(j\omega)$$

Figura 4.1.8

Según la teoría de Nyquist se puede decir que (Figura 4.1.9):

- La acción proporcional K “infla” el gráfico en todas direcciones, tomando como centro el origen. Si K aumenta en exceso, el sistema se desestabiliza.
- La acción integral gira la curva 90° en el sentido de las agujas del reloj, con una amplificación inversamente proporcional a la frecuencia. Si la acción integral es demasiado intensa (T_i demasiado pequeño), el sistema se desestabiliza.
- La acción derivativa gira el diagrama de Nyquist 90° en el sentido contrario a las agujas del reloj, con una amplificación proporcional a la frecuencia. Hasta un cierto punto, la acción D estabiliza el sistema, permitiendo un aumento de la ganancia.

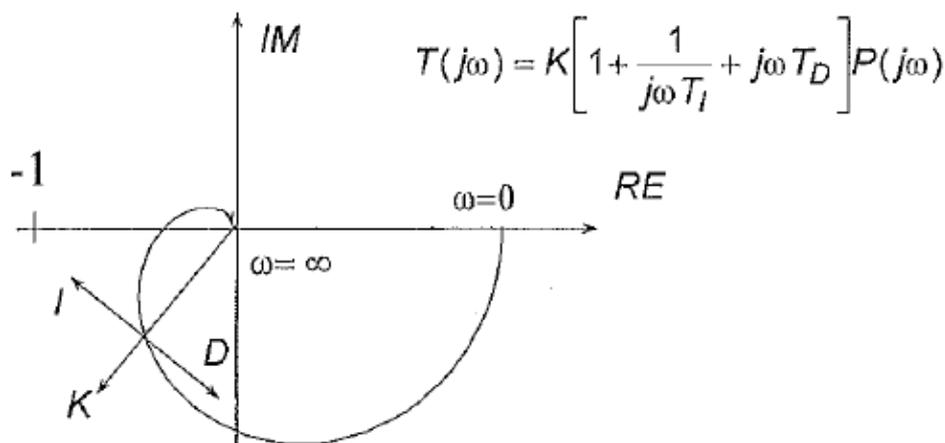


Figura 4.1.9

Existe un método manual de sintonización mediante ensayo error, basado en aplicar los principios generales expuestos anteriormente. El método consiste en (Figura 4.1.10):

- En lazo cerrado, se comienza con un regulador P, con ganancia igual a la inversa de la ganancia del proceso.
- Aumentar la ganancia hasta que la respuesta a los cambios de consigna sea rápida, pero sin oscilación.
- Si se desea acción derivativa, comenzar con un valor de T_D igual a la tercera parte del retraso puro del sistema.
- Aumentar T_D hasta el valor máximo para el cual la respuesta no es oscilante. Intentar aumentar la ganancia.
- Introducir el término integral (si se desea uno), comenzando por un valor de T_i igual al tiempo de estabilización.
- Disminuir T_i para aumentar la rapidez de la respuesta, siempre y cuando no aparezca oscilación.

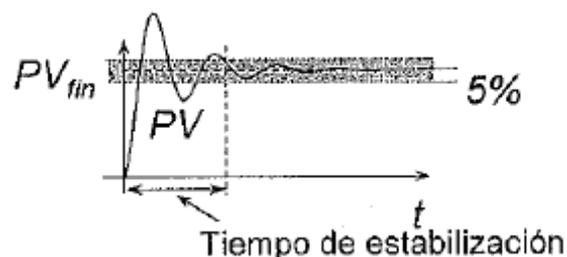


Figura 4.1.10

4.2 Programación.

El presente apartado se centrará en la programación de los controladores que gestionarán los distintos procesos del sistema de climatización. Se tratarán los siguientes puntos [31]:

- Declaración del controlador y de las tarjetas de entradas/salidas.
- Declaración de las señales físicas y pseudos.
- Estrategias de control
- Tablas de verdad
- Programación horaria y de festivos

Se mostrará un ejemplo para cada uno de estos apartados que servirá para entender tanto el software como la lógica de programación usada para los controladores de la marca Honeywell.

Los controladores se programan a través de un software informático de la marca Honeywell diseñado específicamente para la programación de controladores de esta marca. Se utilizará el programa informático “Honeywell CARE” en su versión 3.01.

A través de esta herramienta se realizan tanto las tareas de programación como la descarga de los programas en los controladores. Tal y como se verá a continuación, se trata de una herramienta que permite programar cualquier tipo de tarea y lazos de control de una manera rápida e intuitiva utilizando distintos lenguajes de programación y contando con módulos preprogramados que permiten simplificar los programas y elevarlos al más alto nivel. Está específicamente diseñado para programar sistemas de climatización por lo que cuenta con gran cantidad de herramientas y utilidades de aplicación a éstos.

Declaración del controlador y de las tarjetas de entradas/salidas.

Lo primero que se debe tener en cuenta a la hora de ponerse a programar es el tipo de controlador que se utilizará, así como las tarjetas de entradas y salidas que serán necesarias y las señales, tanto físicas como pseudos, que van a intervenir en el proceso de control.

Este apartado se centrará en la declaración de los controladores y de las tarjetas de entradas y salidas (Figura 4.2.1).

Al abrir la herramienta informática, lo primero que se debe hacer es crear un controlador nuevo. Los parámetros que hay que definir a la hora de crear el controlador son el nombre de éste, que servirá para identificarle dentro del Bus y en el sistema SCADA. Si existe un único bus de comunicaciones, el nombre del controlador debe ser único (no se puede repetir).

A continuación se indicará el bus de comunicaciones al que pertenecerá dicho controlador así como el número que le identificará dentro del bus. Como máximo podrá haber un total de 30 controladores dentro de un mismo bus, luego este número deberá estar comprendido entre el 1 y el 30.

Por último se indicará el tipo de controlador del que se trata. Existen distintas familias y modelos de controladores de la marca Honeywell, cada uno de ellos con unas características concretas, por lo que es fundamental que se elija el modelo correcto.

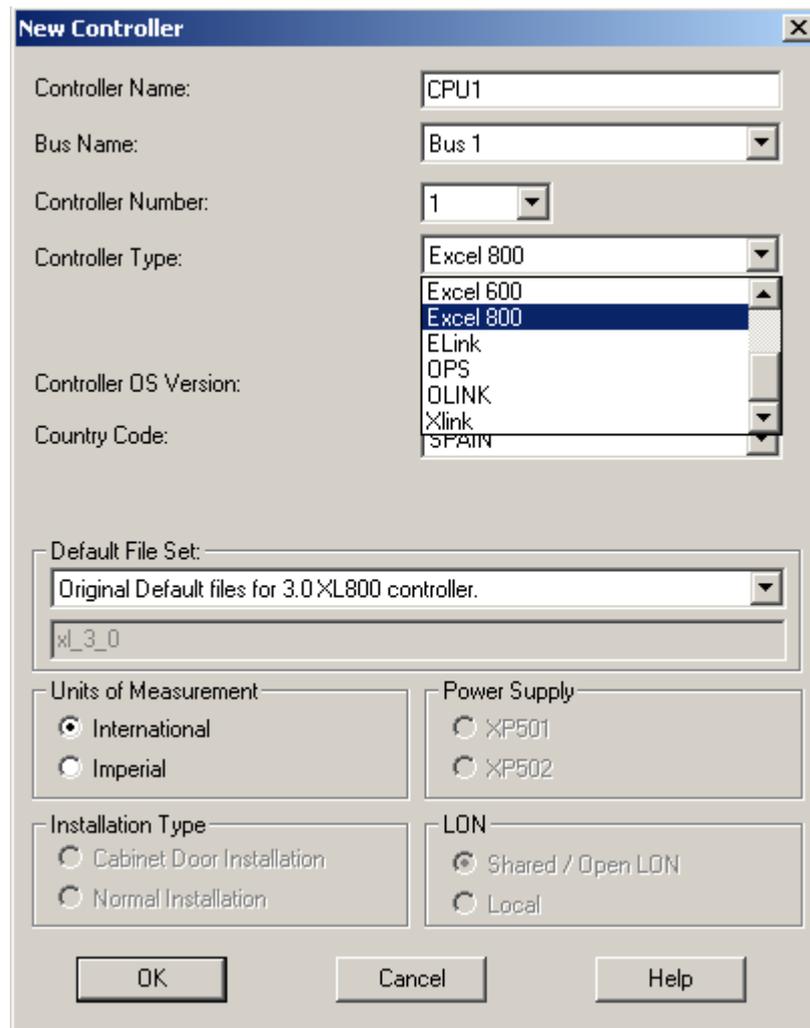


Figura 4.2.1

Como parámetros opcionales no determinantes se podrá elegir el idioma por defecto del controlador, que será el que muestre cuando se conecte de forma local a él.

En esta misma ventana se elegirá la versión del controlador, debido a que para una misma familia y modelos de controladores existen distintas versiones que pueden diferir en las opciones que presenta el controlador y en la forma que tiene éste de presentar la información.

Una vez definido el controlador, hay que definir las tarjetas de entradas y salidas que utilizará éste para gestionar las distintas señales físicas del sistema (Figura 4.2.2).

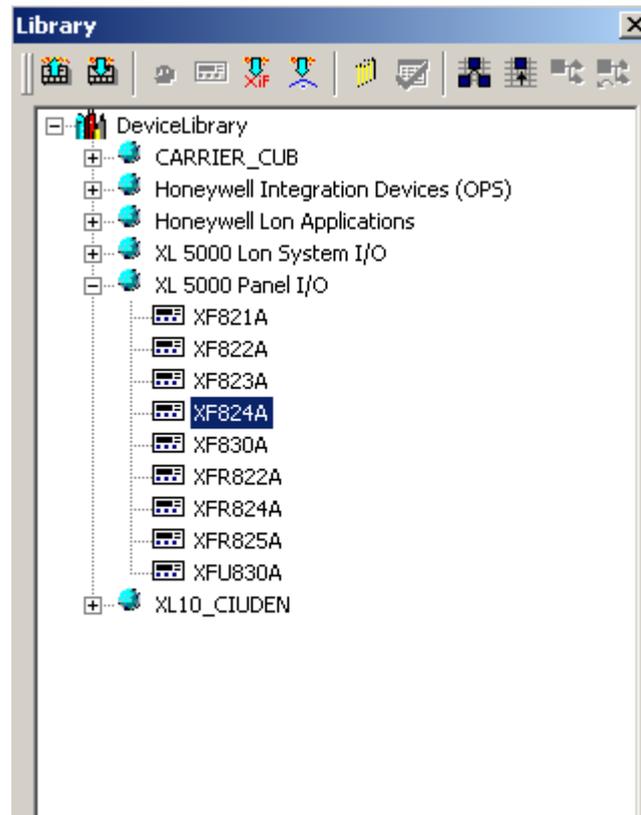


Figura 4.2.2

Al abrir la librería de módulos de entradas/salidas lo primero que se seleccionará será el modelo de la tarjeta, que irá en función del controlador seleccionado.

Existen distintos modelos de tarjetas para un mismo controlador. La diferencia entre ellas se basa en el protocolo de comunicación que utilizan para comunicarse con el controlador. Los controladores de la marca Honeywell tienen la posibilidad de comunicar utilizando dos protocolos de comunicaciones distintos, uno cerrado, propiedad de la marca, denominado C-Bus y mediante protocolo Lon-Works. Por tanto los modelos disponibles de tarjetas para un mismo controlador irán en función del protocolo de comunicaciones que utilicen.

Una vez seleccionado el modelo de tarjeta, se seleccionará el tipo. Éste irá en función del tipo de señales que valla a gestionar. Existen cuatro tipos de tarjetas:

- Entradas Digitales
- Salidas Digitales
- Entradas Analógicas
- Salidas Analógicas

Declaración de las señales físicas y pseudos.

Una vez definido el controlador y las tarjetas de entradas y salidas se definirán las señales físicas que gestionará el controlador y las señales pseudos que intervendrán en los algoritmos de programación y lazos de control que servirán para automatizar y regular los distintos procesos dentro del sistema de climatización (Figura 4.2.3).

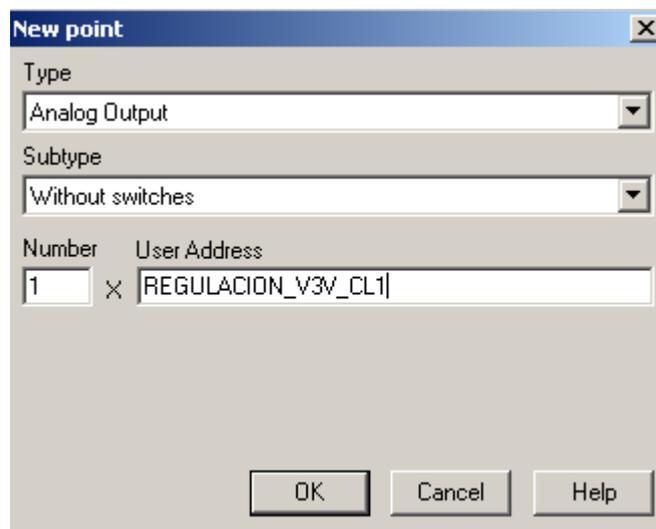


Figura 4.2.3

En primer lugar se definirá el tipo de señal. Existen cinco tipos de señales físicas, tres tipos de señales pseudos y dos tipos de señales globales. Dentro de cada tipo de señal existen distintos subtipos que se detallarán más adelante.

Los tipos de entradas físicas son: entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales, salidas digitales y entradas totalizadoras.

Las entradas analógicas cuentan con dos subtipos que difieren en el tiempo de muestreo de la señal. Las entradas analógicas de tipo “Fast” se utilizan para medidas que cambian muy rápido en el tiempo, como pueden ser las temperaturas y presiones de impulsión de los climatizadores, por lo que se necesita que el muestreo de la señal sea rápido para registrar todos los cambios que experimente. Por otro lado, las entradas analógicas de tipo “Slow” se utilizan para señales que cambian muy despacio en el

tiempo debido a que se encuentran dentro de sistemas que cuentan con una gran inercia, como pueden ser las medidas de temperatura y humedad ambiente.

Las salidas analógicas pueden ser de dos tipos en función del modelo de tarjeta elegida. Algunos modelos de tarjetas cuentan con unos switches que permiten ajustar el valor de la salida digital de forma manual, directamente desde la propia tarjeta. Por tanto los subtipos de salidas analógicas serán “con Switches” o “sin Switches”.

Las entradas digitales pueden ser “Normalmente abiertas” o “Normalmente cerradas”. Las entradas digitales “Normalmente abiertas” son aquellas en las que el valor de reposo de la señal, “OFF (0)”, se interpreta cuando hay circuito abierto entre los dos terminales de la entrada digital de la tarjeta. El valor lógico de activación de la señal, “ON (1)”, se interpreta cuando hay un circuito cerrado libre de tensión entre los terminales de la entrada digital en la tarjeta. En el caso de las entradas digitales “Normalmente cerradas”, los valores lógicos de la señal se interpretan de manera inversa a las “Normalmente abiertas”.

Los tipos de salidas digitales son cuatro. Como en el caso de las salidas analógicas, éstas pueden ser “con Switches” o “sin Switches”, para actuar de forma manual desde la propia tarjeta, activando o desactivando la salida digital. También pueden ser “Normalmente abiertas” o “Normalmente cerradas”, siguiendo la misma lógica que la seguida con las entradas digitales.

Las entradas totalizadoras son entradas digitales que cuentan pulsos. Cada vez que se cortocircuita la entrada digital configurada como totalizadora, la señal aumenta en un valor constante almacenando la cantidad de pulsos recibidos. Este tipo de señales se utilizan para contadores de agua, gas, calorías, etc. Dentro de las entradas totalizadoras existen dos tipos, totalizadoras tipo “Fast” para trenes de pulsos rápidos. Las totalizadoras de tipo “Slow” se utilizan para contadores que generan trenes de pulsos lentos.

Para las señales pseudos, existen tres tipos: pseudos digitales, pseudos analógicas y pseudos totalizadoras.

Las señales pseudos digitales pueden ser de dos tipos, de dos estados o de “N” estados (multi estados).

Las señales pseudos analógicas son únicas, no cuentan con subtipos, y se utilizan principalmente para la declaración de los puntos de consigna, así como para señales internas que intervienen en los procesos de control y regulación.

Las señales pseudo totalizadoras se utilizan para almacenar valores analógicos recibidos a través de trenes de pulsos (señales digitales). No existen subtipos dentro de este tipo de señal.

Las señales globales son señales que pueden transmitirse a través del bus, es decir, pueden ser gestionadas por todos los controladores que cuelgan de ese bus. Existen dos tipos de señales globales: las globales analógicas, que pueden ser de tipo entrada o de tipo salida, y las globales digitales, que pueden ser de 2 estados o de “N” estados.

Una vez definido el tipo de señal se le dará un nombre, “Dirección de Usuario”, que será el nombre que tomará la señal en el controlador y posteriormente en el sistema SCADA. Cada señal quedará definida por su “Dirección de Usuario” y por el número de controlador, número de tarjeta y número de posición que ocupa dentro de la tarjeta. Una vez que está definido el controlador, las tarjetas y las señales físicas y pseudos se programarán los algoritmos de control y lazos de regulación de los distintos procesos del sistema de climatización. Esta programación se puede realizar mediante la combinación de dos tipos de lenguajes: a través de estrategias de control o mediante tablas de verdad.

Estrategias de control.

La programación mediante estrategias de control se basa en la utilización y combinación de una serie de iconos de control que generan una secuencia de eventos. Los iconos de control proveen funciones preprogramadas y algoritmos para implementar secuencias de control. La programación se implementa a través de un entorno gráfico dividido en tres áreas (Figura 4.2.4).

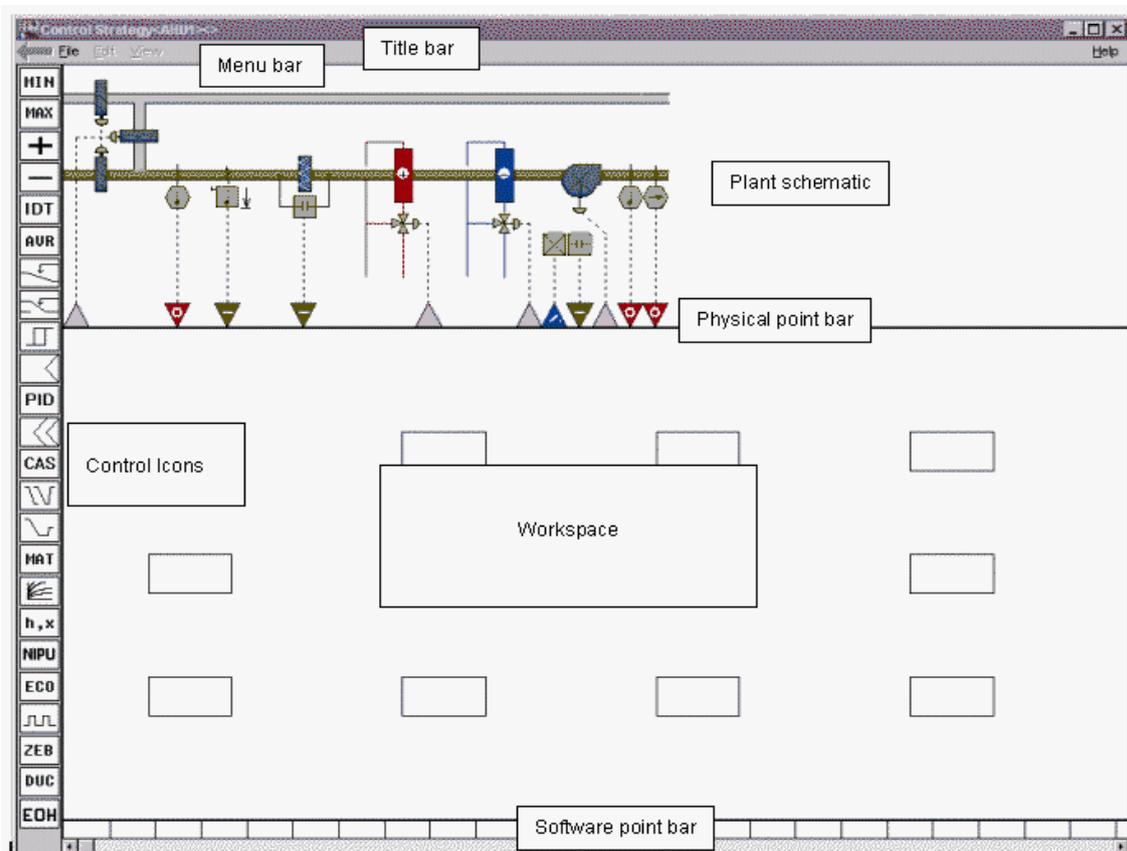
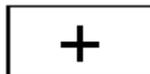


Figura 4.2.4

- Área de puntos físicos: En esta área se muestran los puntos físicos definidos previamente en el controlador a través de símbolos que representan el equipo de campo que gestiona la señal. Por ejemplo, la lectura de una temperatura se representa mediante el símbolo de un termómetro, el marcha/paro de un ventilador mediante el símbolo que lo representa, etc. Gracias a estas representaciones, las señales se identifican de forma rápida y sencilla a la hora de programar las estrategias de control.
- Área de trabajo: En esta zona es donde se colocan los iconos de control después de seleccionarlos. Se puede asignar un icono de control a cada rectángulo. Se pueden conectar los iconos de control entre sí, a señales físicas y a señales pseudos.
- Área de puntos pseudos: En esta zona se representan los puntos pseudos relacionados con el lazo de control a programar.

A continuación se definirán de forma general los iconos de control más comunes y utilizados a la hora de programar estrategias de control.

SUMADOR (Figura 4.2.5):



La función de sumador suma múltiples valores de entradas analógicas (físicas o pseudos). Es capaz de sumar hasta 6 entradas analógicas y sacar el resultado a través de una salida analógica (pseudos).

$$Y = X1+X2+X3+X4+X5+X6$$

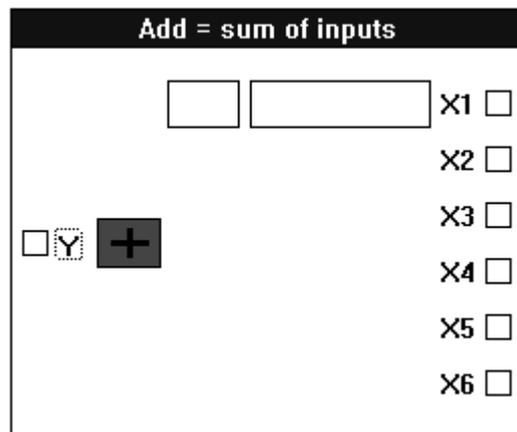
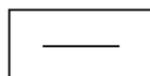


Figura 4.2.5

RESTADOR (Figura 4.2.6):



La función de resta permite realizar la resta de la señal X1 menos la suma de las señales analógicas de entrada de la X2 a la X6 y presentar el resultado a través de la señal pseudo analógica Y.

$$Y = X1-(X2+X3+X4+X5+X6)$$

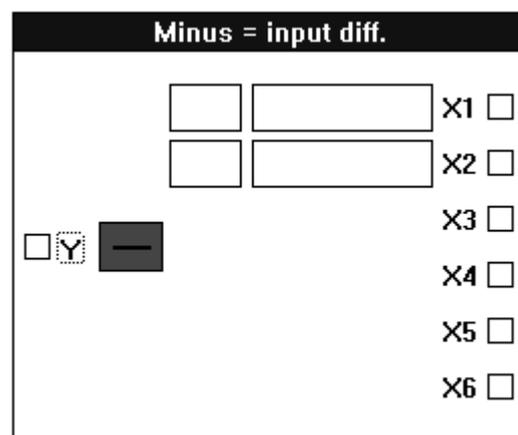


Figura 4.2.6

MÁXIMO (Figura 4.2.7):



La función de máximo devuelve a través de la señal de salida Y el valor más alto de todas las entradas.

$$Y = \text{MAX} [X1, X2, X3, X4, X5, X6]$$

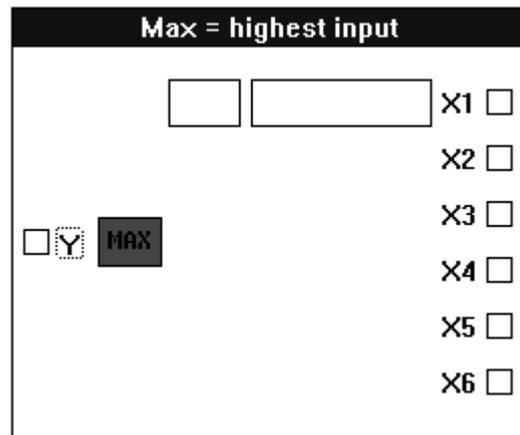


Figura 4.2.7

MÍNIMO (Figura 4.2.8):



La función mínimo devuelve a través de la señal de salida Y el valor más pequeño de todas las entradas.

$$Y = \text{MIN} [X1, X2, X3, X4, X5, X6]$$



Figura 4.2.8

EDITOR MATEMÁTICO (Figura 4.2.9):

El editor matemático sirve para crear fórmulas matemáticas para modificar entradas provenientes de otros iconos de control.

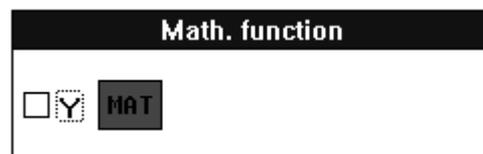


Figura 4.2.9

Este módulo presenta una calculadora matemática a través de la cual se pueden definir operaciones de sumas, restas, multiplicaciones, divisiones, exponenciales, raíces cuadradas, etc.

MEDIA ARITMÉTICA (Figura 4.2.10):



El módulo de media aritmética calcula la media entre todas las señales de entrada y la presenta a través de la salida Y.

$$Y = (X1+X2+X3+X4+X5+X6)/6$$

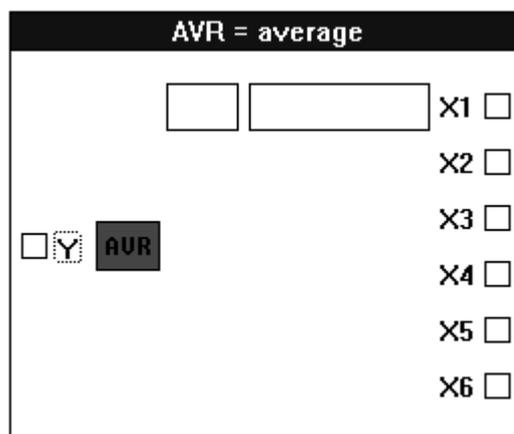
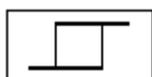


Figura 4.2.10

COMPARADOR (Figura 4.2.11):



El módulo comparador compara las entradas analógicas X, W y saca el resultado a través de la salida digital YD. Si el valor analógico de la entrada X es mayor que el de la entrada Y, la salida digital YD saca un “1” lógico, en caso contrario saca un “0” lógico.

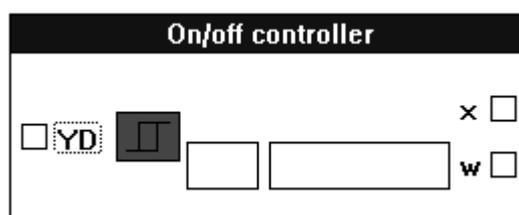


Figura 4.2.11

Cuenta con la posibilidad de introducirle un valor de histéresis que sirve para mantener el “1” lógico hasta que la señal W supera en el valor de histéresis a la señal X.

SWITCH ANALÓGICO (Figura 4.2.12):



El switch analógico saca por la salida Y el valor de la entrada X2 o X3 dependiendo del valor lógico de la entrada XD1.

Si la señal XD1 tiene el valor lógico de “1”, la salida Y muestra el valor analógico de la entrada X2.

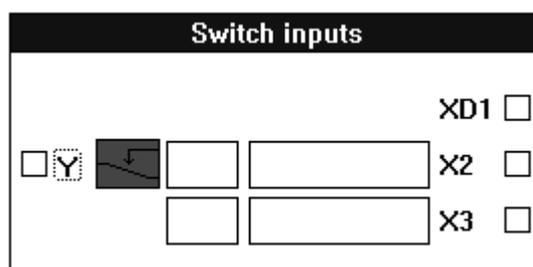


Figura 4.2.12

Si la señal XD2 tiene el valor lógico de “0”, la salida Y muestra el valor analógico de la señal X3.

XAND (Figura 4.2.13):



La función XAND es una puerta lógica AND de 6 entradas digitales.

Se pueden utilizar las entradas que se quiera, anulando las demás poniendo un "1" en su recuadro correspondiente.

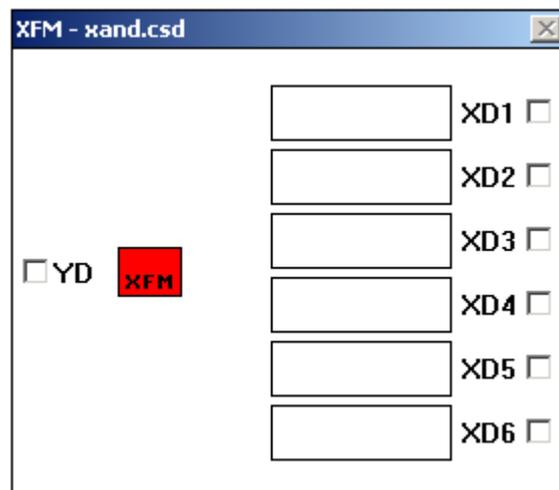


Figura 4.2.13

XOR (Figura 4.2.14):



La función XOR es una puerta lógica OR de 6 entradas digitales.

Se pueden utilizar las entradas que se quiera, anulando las demás poniendo un "0" en su recuadro correspondiente.

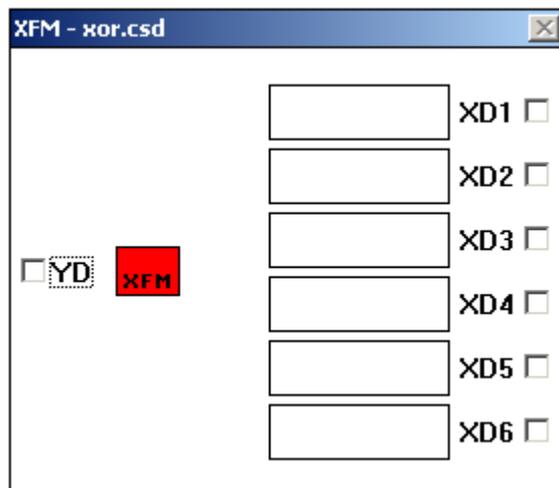


Figura 4.2.14

XNOT (Figura 4.2.15):



La función XNOT es un inversor digital de una entrada.

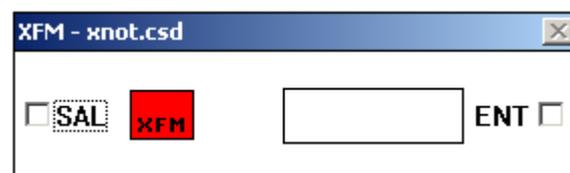
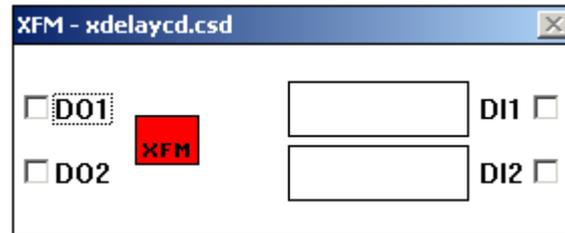


Figura 4.2.15

Si la entrada tiene el valor lógico de "0", la salida sacará el valor lógico de "1".
Si la entrada tiene el valor lógico de "1", la salida sacará el valor lógico de "0"

XDELAYCD (Figura 4.2.16):

Figura 4.2.16



Esta función presenta un retardo a la conexión y un retardo a la desconexión de las entradas digitales DI1 y DI2 de forma independiente según unos valores introducidos en parámetros. Se puede anular el retardo a la conexión o a la desconexión introduciendo un “0” en su parámetro correspondiente.

XROH2N (Figura 4.2.17):

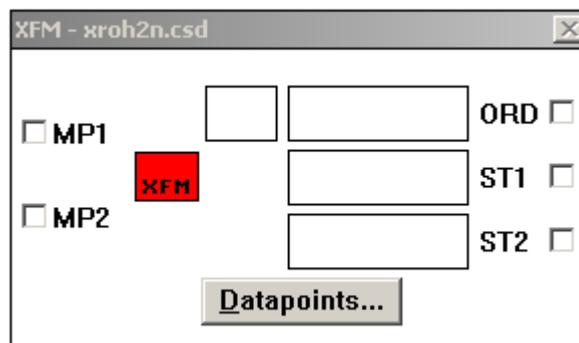


Figura 4.2.17

Realiza la rotación de dos motores por horas de funcionamiento y por avería, manteniendo la orden de marcha/parada en el motor averiado, hasta que éste entre de nuevo en funcionamiento.

La señal de entrada “ORD” es una entrada analógica que puede tomar los valores de “0”, “1”, y “2”. Cuando la señal tiene el valor de “0” significa que los dos motores deben estar parados, luego las dos señales de marcha/parada (MP1 y MP2) permanecerán en “OFF”. Cuando dicha señal tiene los valores de “1” ó “2”, significa que se está dando orden de activar 1 ó 2 motores respectivamente. En el caso de que la orden sea de activación de un motor, se activará el que menor número de horas de funcionamiento presente.

Las señales “ST1” y “ST2” supervisan los estados de funcionamiento de los motores. En caso de que se de la orden de activar uno de los motores y no se reciba el estado de éste en un período de tiempo determinado, se considerará que el motor está averiado, dando orden de activación al otro motor y manteniendo la orden en el motor averiado hasta que éste se reestablezca. La diferencia de horas de rotación para cambiar la activación de un motor a otro es parametrizable.

PID (Figura 4.2.18):



Este icono de control es un regulador PID que entrega una salida proporcional que refleja la desviación entre las dos señales analógicas de entrada.

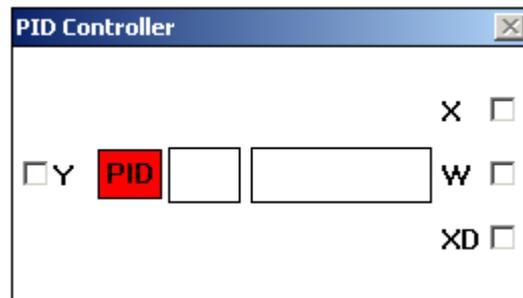


Figura 4.2.18

Este módulo se utiliza para programar lazos de regulación como pueden ser la regulación de la temperatura y humedad ambiente, la presión de impulsión de un climatizador, etc.

La señal “XD” sirve para enclavar el regulador con una entrada digital, como por ejemplo, el estado de funcionamiento del ventilador del climatizador, el horario de confort del edificio, etc. Cuando la señal digital tiene el valor lógico de “0” (OFF), el regulador no actúa y posiciona el valor de la salida “Y” a un valor constante introducido en parámetros. Cuando la señal digital tiene el valor lógico de “1” (ON), el regulador comienza a hacer sus cálculos internos para sacar una salida proporcional y variable en el tiempo que refleja la desviación entre las dos señales analógicas de entrada.

La señal “X” es la variable del lazo de regulación, es decir, la medida que se quiere corregir. La señal “W” es el punto de consigna, es decir, el valor constante al que se quiere llevar la variable del sistema.

Como todo regulador PID, éste presenta una serie de parámetros configurables que determinarán el tipo de regulación a aplicar. Estos parámetros son la banda proporcional, el tiempo derivativo y el tiempo integral (Figura 4.2.19).

El máximo y mínimo de la salida de corrección del PID también es configurable, aunque por defecto ésta estará siempre entre 0 y 100%.

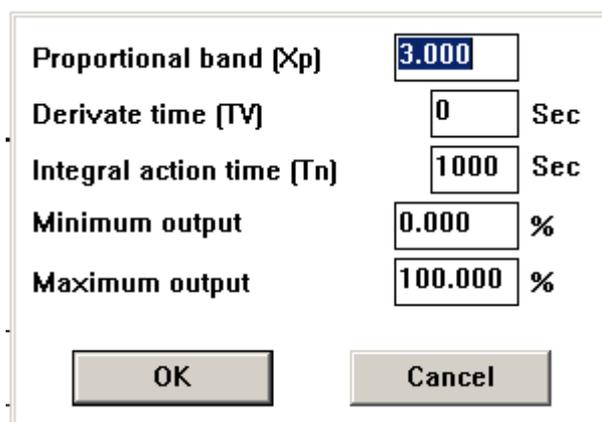


Figura 4.2.19

Estando configurada la salida entre 0 y 100%, el regulador funcionará de la siguiente manera:

- Cuando la variable sea inferior al punto de consigna, la salida del regulador estará comprendida entre 0 y 50%. Cuanto mas inferior sea la variable al punto de consigna, más próxima estará la salida a 0%.

- Cuando la variable sea superior al punto de consigna, la salida del regulador se encontrará entre 50 y 100% creciendo ésta a medida que la variable sea mayor al punto de consigna.
- Cuando la variable y el punto de consigna sean iguales, la salida valdrá 50%.

FUNCIÓN RAMPA (Figura 4.2.20):



Este módulo ofrece una salida proporcional y lineal en función de la entrada.



Figura 4.2.20

La conversión de la entrada se realiza a través de una recta configurable (Figura 4.2.21).

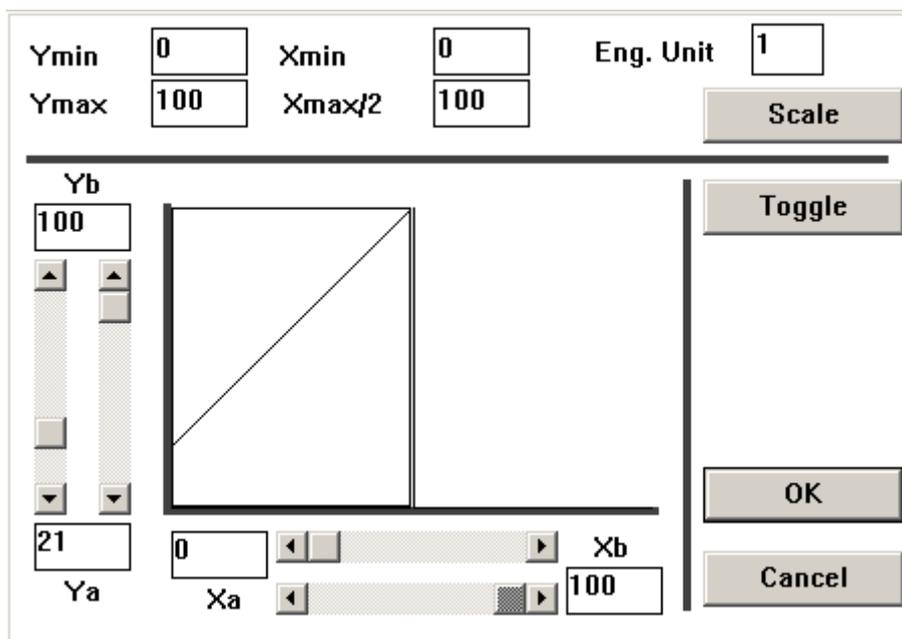


Figura 4.2.21

Cuando la entrada tiene el valor de “Xa”, la salida tiene el valor de “Ya”. Cuando la entrada tiene el valor de “Xb”, la salida tiene el valor de “Yb”.

A continuación se mostrará un **ejemplo de programación** de estrategia de control en el que se utilizan algunos de los módulos preprogramados definidos anteriormente (Figura 4.2.22).

Se trata de la implementación de un lazo de regulación para controlar la temperatura de retorno del aire en un climatizador actuando sobre las válvulas de 3 vías de las baterías de los climatizadores.

Para ello, el primer módulo que se utilizará será un “PID”. Como entradas del PID se introducirá la señal de la temperatura de retorno del aire del climatizador y el punto de consigna de temperatura de retorno.

Se enclavará el PID con la entrada digital del estado de funcionamiento del ventilador del climatizador, de forma que, cuando el ventilador esté parado, el PID no regulará y mantendrá su salida a un valor constante para mantener cerradas las válvulas de las baterías.

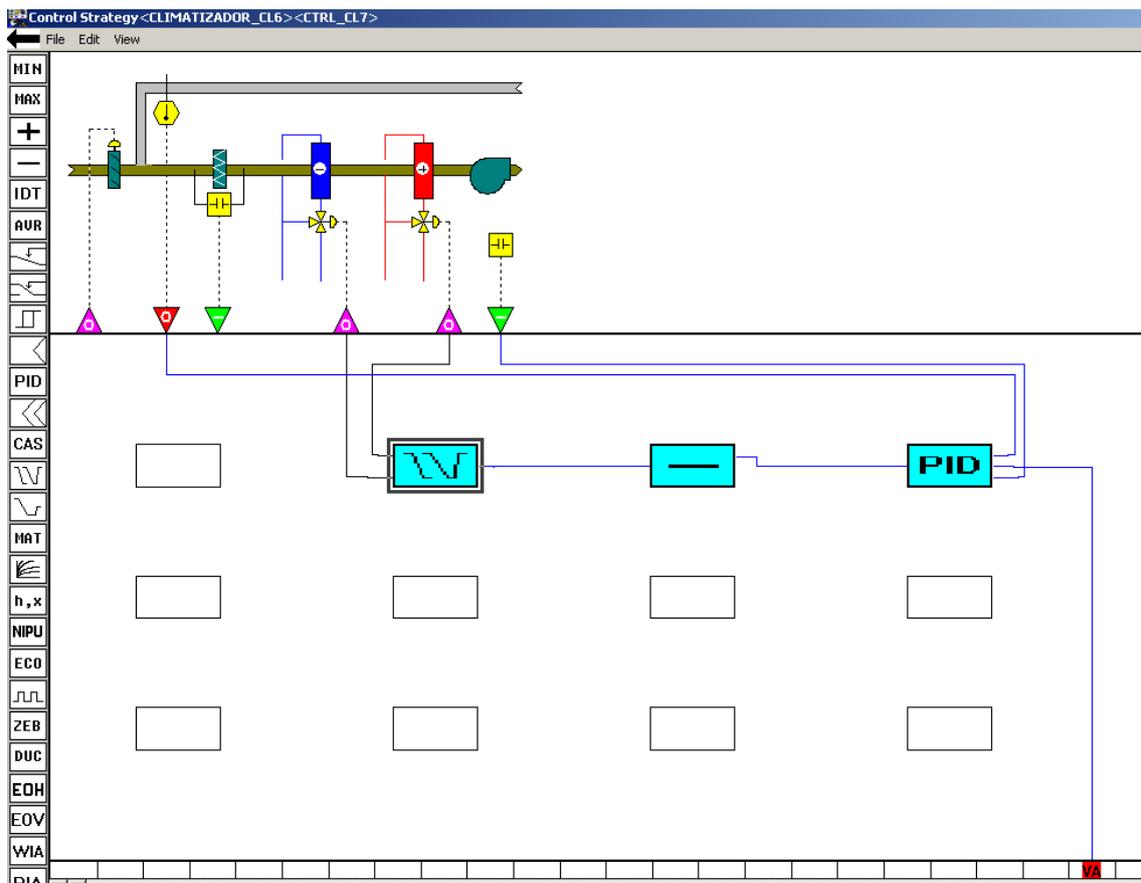


Figura 4.2.22

La salida del PID estará comprendida en un valor entre 0 y 100% y se pasará a través de un módulo restador para conseguir invertir la señal. Cuando la entrada del restador sea 0, la salida será 100. Cuando la entrada del restador sea 100, la salida será 0.

A la salida del restador se obtendrá una señal que determinará la necesidad de demanda de calor o frío. Cuando ésta se encuentre comprendida entre 0 y 50% existirá demanda de calor. Cuanto mayor sea la demanda de calor más cercana estará esta señal del 0%. Cuando la señal se encuentre comprendida entre 50 y 100% existirá demanda de frío. Cuanto mayor sea la demanda de frío, más cercana estará esta señal del 100%.

Para poder actuar de forma correcta sobre las válvulas de las baterías de los climatizadores se utilizará una función rampa de dos salidas independientes. Se utilizará la señal de salida del restador como entrada de la función rampa. Dicha función actúa de la siguiente manera:

Cuando la señal de entrada esté comprendida entre los valores de 0 y 50%, se obtendrá a la salida “Y1” una señal inversamente proporcional comprendida entre 0 y 100% (Figura 4.2.23). Luego con un valor de entrada de 0% (demanda máxima de calor) se obtendrá una salida de 100%. Cuando la señal de entrada sea mayor del 50% (demanda de frío), se obtendrá una salida de 0%. Luego esta salida ya se puede conectar directamente con la salida analógica que gobierna el actuador de la válvula de 3 vías de la batería de calor del climatizador.

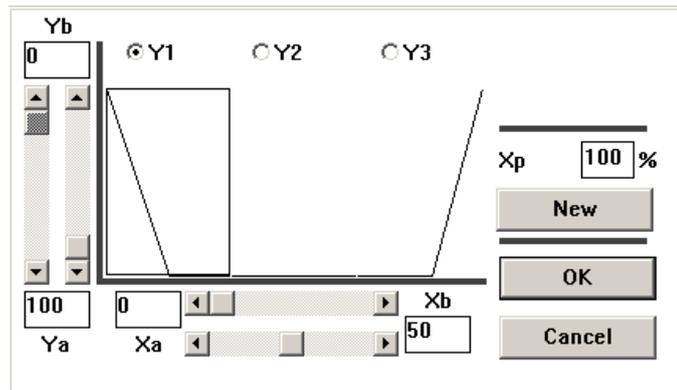


Figura 4.2.23

Cuando la señal de entrada esté comprendida entre los valores de 60 y 100%, se obtendrá a la salida “Y3” una señal directamente proporcional comprendida entre 0 y 100% (Figura 4.2.24). Luego con un valor de entrada de 100% (demanda máxima de frío) se obtendrá una salida de 100%. Cuando la señal de entrada sea menor del 60% (demanda de calor), se obtendrá una salida de 0%. Luego esta salida ya se puede conectar directamente con la salida analógica que gobierna el actuador de la válvula de 3 vías de la batería de calor del climatizador.

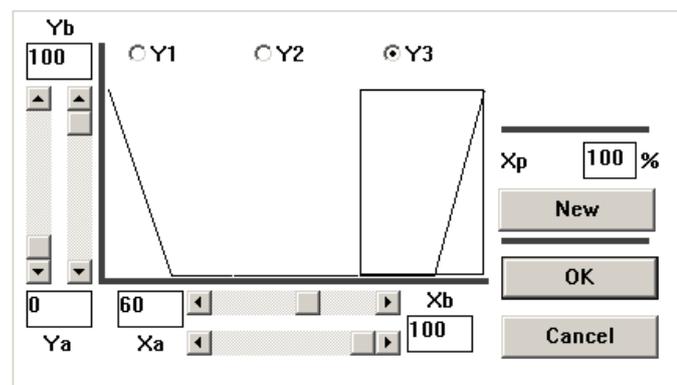


Figura 4.2.24

Se crea una banda muerta para cuando la señal de entrada está comprendida entre 50 y 60%. Dentro de esta banda muerta no se actúa sobre ninguna de las dos salidas, manteniendo ambas cerradas.

Tablas de Verdad.

Las tablas de verdad permiten implementar el control lógico digital de un punto. Se comanda un punto analógico o digital a un valor determinado o estado si se cumplen una serie de condiciones lógicas. Las tablas permiten programar tiempos de retardo que se pueden añadir al control lógico.

Las tablas de verdad se pueden utilizar, por ejemplo, para activar el ventilador de retorno de un climatizador 30 segundos después de que se reciba el estado de funcionamiento del ventilador de impulsión.

Las tablas de verdad tienen prioridad sobre las estrategias de control. Una estrategia de control no puede operar sobre un punto cuando una tabla de verdad tiene el control. Hasta que la tabla de verdad no libere el punto, la estrategia de control no podrá comandarle.

A continuación se muestra un ejemplo de tabla de verdad utilizada para programar la alarma de disconformidad del ventilador de impulsión de un climatizador (Figura 4.2.25).

La programación de las tablas de verdad se basa en funciones lógicas “AND” y “OR”. Las columnas representan la función lógica “AND” y las filas la función lógica “OR”



AL_ST_CL_D1	Te=1m	1	
ST_VENT_CL_D1		1	0
MP_VENT_CL_D1		0	1

Figura 4.2.25

Por tanto, mirando la tabla del ejemplo, se observa que se activa la señal de alarma cuando el estado del ventilador es “1” (ON) y el marcha/paro es “0” (OFF), transcurrido un retardo de 1 minuto. Si por el contrario, el estado del ventilador es “0” (OFF), y la señal de marcha/paro es “1” (ON), se activa la alarma transcurrido un retardo de 1 minuto. De esta forma se programará la alarma de disconformidad del ventilador del climatizador.

Programación horaria y de festivos.

Una vez que se han programado todas las estrategias de control y tablas de verdad, se programarán los horarios y tablas de festivos que gestionará el controlador. Éstos atacarán a las señales, físicas o pseudos, del propio controlador.

Los horarios y festivos residirán en el propio controlador y no en el sistema SCADA, como pasaba con modelos anteriores de controladores. Esto permite que, en caso de que el controlador pierda comunicación con el sistema SCADA, éste pueda seguir funcionando de acuerdo a los horarios y festivos programados. Con esto se evita que el controlador dependa del sistema SCADA.

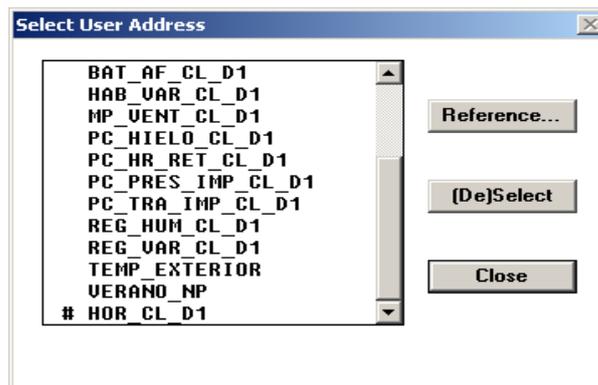


Figura 4.2.26

Lo primero que hay que hacer a la hora de programar un horario, es definir la señal a la cual atacará dicho horario a través de la ventana de selección de dirección de usuario. Se pueden elegir una o más señales a las que puede atacar un mismo horario (Figura 4.2.26).

Una vez definidas estas señales, se definirán los programas diarios disponibles para dicho horario. Por lo general, se define un “laboral” y un “festivo” que determinarán los horarios de ocupación y desocupación del edificio (Figura 4.2.27).

Una vez creados los programas diarios habrá que editarlos. Para ello se entrará en cada uno de ellos y se seleccionarán la señal o señales a las cuales ataca el horario indicando tanto las horas como el valor que tomará la señal, en éstas, a lo largo del día (Figura 4.2.28).

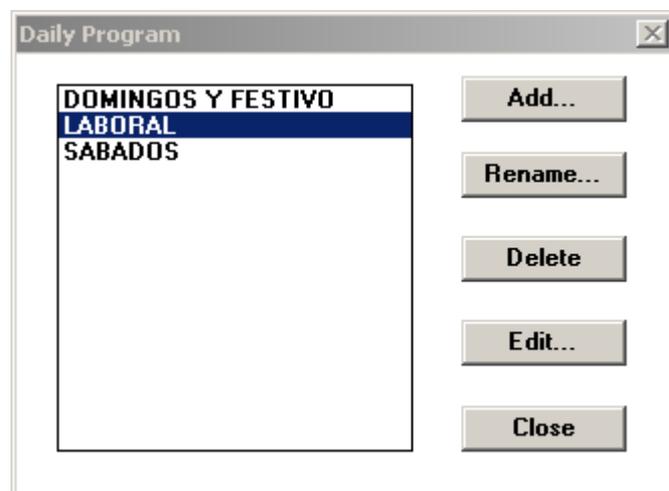


Figura 4.2.27

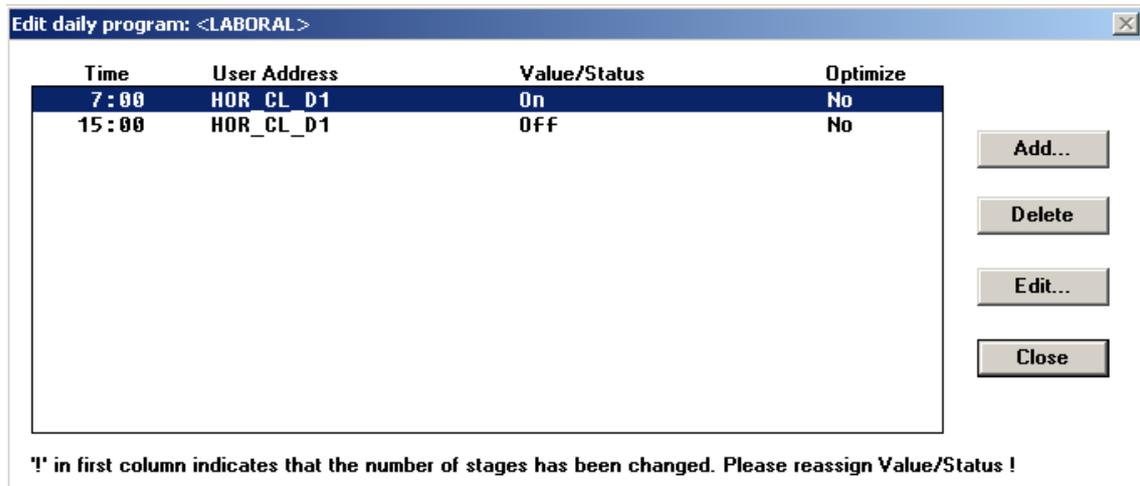


Figura 4.2.28

Por último, se hará la asignación de los distintos programas diarios editados a los días de la semana. Se puede asignar un único programa diario a cada día de la semana. La programación de festivos se realizará mediante la asignación de un programa diario, previamente editado, a una serie de días concretos del calendario.

4.3 Integración en el sistema SCADA.

En el presente apartado se tratará el proceso de integración del sistema de control en el sistema SCADA. Se tratarán los siguientes puntos:

- Descarga de programas en los controladores.
- Creación de base de datos.
- Creación de gráficos de sistema y asignación de señales.

Descarga de programas en los controladores.

Una vez que están programados todos los procesos de control y regulación de los controladores, se realizará la descarga del programa sobre ellos.

Para ello se utilizará la misma herramienta informática usada para realizar los programas, a través de la utilidad “XL Online”.

Lo primero que hay que hacer es compilar el programa para asegurarse de que no presenta errores de sintaxis en el lenguaje de programación, horarios no programados o tablas de verdad y estrategias incompletas.

Una vez compilado el programa sin errores, se generará un archivo que será el que se cargará al controlador.

Para conectarse al controlador se necesita un cable UTP de longitud máxima de 15 metros con un conector RJ-45 en uno de los extremos y conector serie RS-232 en el otro. Hay que conectar el conector RJ-45 al controlador y el conector serie al puerto serie del PC (COM1, COM2 o COM3). Se abre la aplicación “XL Online”. La comunicación será mediante protocolo RS-232 a una velocidad de 38400 baudios.

Tras abrir la aplicación se selecciona la opción de descarga de programa en el controlador y se busca el archivo que contenga el programa compilado que se quiere cargar. Se realizará un test para comprobar que la comunicación entre el PC y el controlador es correcta y se descargará el programa en él. Esta operación durará unos minutos y generará un mensaje de confirmación de carga cuando el proceso haya finalizado correctamente.

Una vez cargado el programa hay que conectarse al controlador de forma local para realizar una serie de procesos. En primer lugar se comprobará que el nombre del controlador y número que ocupa dentro del C-Bus es el correcto y que desde él se ven el resto de controladores del bus.

Seguidamente se pondrá en hora el reloj interno del controlador y se fijará la fecha actual. Una vez terminados estos procesos hay que salvar la memoria FLASH del controlador.

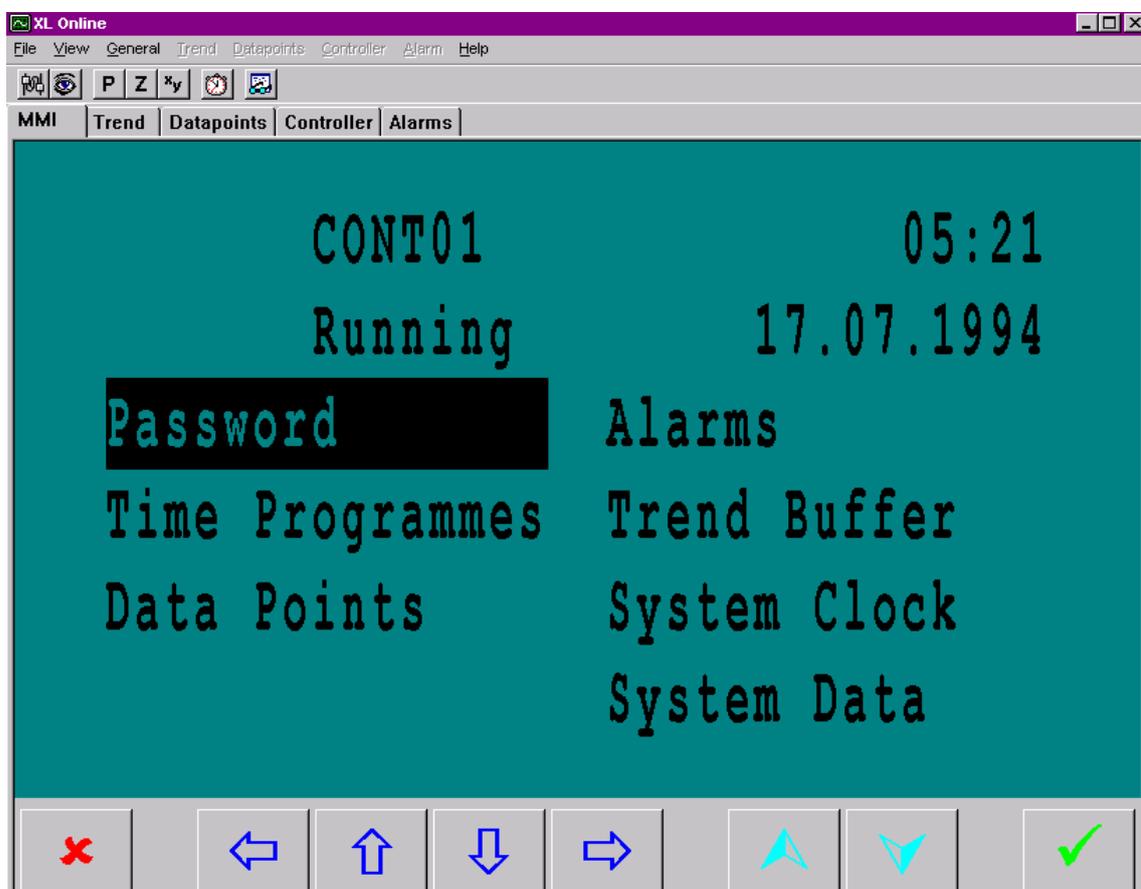


Figura 4.3.1

En el dibujo superior (Figura 4.3.1) se muestra la pantalla de conexión local al controlador desde la cual se realizan las tareas anteriormente definidas. A través de esta aplicación se puede acceder a los puntos del controlador y actuar de forma manual sobre ellos. Del mismo modo se puede acceder a los horarios y festivos programados así como modificarlos de forma manual.

Creación de base de datos.

El siguiente paso es la creación de la base de datos que utilizará el sistema SCADA para gestionar las señales de los controladores y a través de la cual se realizarán las asignaciones de éstas en los gráficos de sistema del SCADA.

La comunicación entre los controladores y el sistema SCADA no es una comunicación directa, sino que se establece a través de la base de datos SQL que residirá en el sistema operativo del servidor. Esta base de datos funcionará como interface entre los controladores y el sistema SCADA. Los controladores escribirán sobre la base de datos SQL y el SCADA leerá la información a través de ella.

Para la creación de la base de datos existe una herramienta denominada “QuickBuilder”. Esta herramienta debe estar instalada en el servidor que albergará el SCADA y en el que previamente se habrá dado de alta el C-Bus desde el Panel de Control del sistema operativo del Servidor. Desde aquí se dará de alta la BNA que gestionará el C-Bus y se le asignará una dirección IP del mismo rango que la dirección IP del servidor. Desde el QuickBuilder se seleccionará el servidor que gestionará el SCADA y que deberá estar dado de alta con su nombre y dirección IP en la carpeta “host” del sistema operativo del servidor. A continuación se hará uso de una utilidad de esta herramienta para descubrir los puntos (físicos y pseudos) que pertenecen a un bus determinado. Esta utilidad detecta de forma automática todos los puntos de los controladores de un bus así como todas sus propiedades.

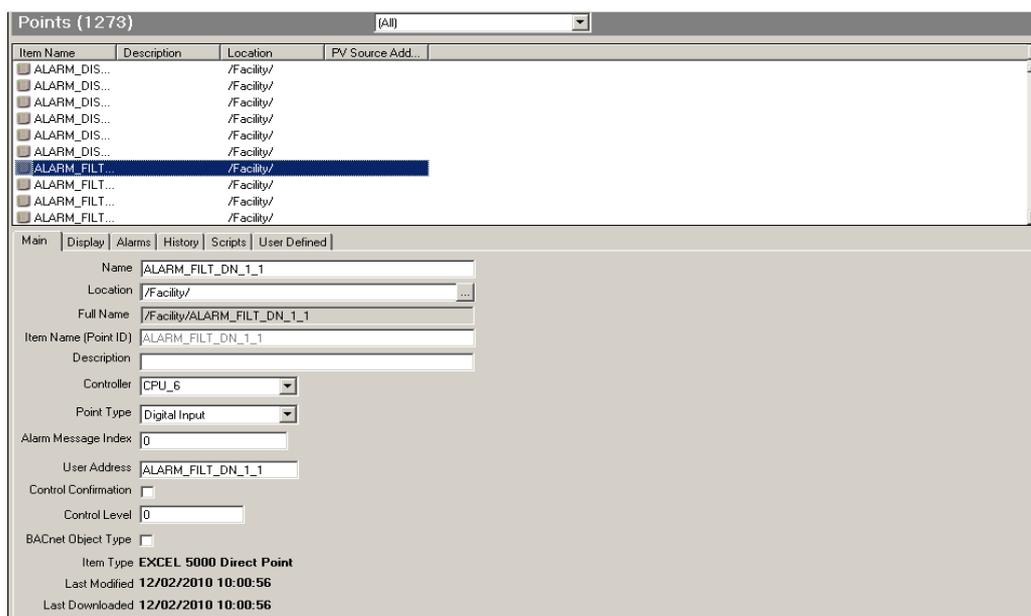


Figura 4.3.2

A través de unos sencillos pasos, esta herramienta nos genera una base de datos de QuickBuilder con todos los controladores y puntos del bus. Esta base de datos recoge todas las propiedades de los controladores y puntos, tales como el nombre, bus y dirección ID de los controladores, dirección de usuario de los puntos, tipo, controlador al que pertenecen, etc. (Figura 4.3.2)

Desde el QuickBuilder se pueden cambiar algunas de estas propiedades, como puede ser el nombre de un punto, teniendo en cuenta que estos cambios serán de aplicación exclusivamente en la base de datos SQL y nunca en los propios controladores.

La creación de la base de datos SQL supone la necesidad de descargar los controladores y puntos de la base de datos de QuickBuilder hacia la ella. Todos los controladores o puntos que no se descarguen desde la base de datos de QuickBuilder no se generarán en la base de datos de SQL y por lo tanto no comunicarán con el sistema SCADA.

Creación de gráficos y asignación de señales en el sistema SCADA.

Una vez que está creada la base de datos de SQL y comunicando los controladores con el sistema SCADA, el último paso consiste en la creación de los gráficos de sistema del SCADA y la asignación de señales en ellos.

El sistema SCADA EBI utiliza gráficos basados en páginas Web html. Para la creación de gráficos y asignación de señales se utilizará la herramienta “HMIWeb Display Builder”.

Con esta herramienta se pueden crear gráficos personalizados adaptados a la instalación y necesidades del usuario. La navegación a través del SCADA y de los distintos sistemas de control se basa en llamadas y saltos a cada una de las páginas html creadas. Cada uno de los gráficos o páginas serán guardados en una carpeta llamada “Abstract” donde el sistema SCADA irá a buscarlos cada vez que reciba una llamada a ellos.

A continuación se mostrará un ejemplo de creación de un gráfico para uno de los climatizadores del sistema de climatización donde se podrán ver las características y utilidades más comunes y usadas del programa, así como el proceso de asignación de señales.

Lo primero que hay que hacer es crear la base del gráfico que, por lo general, es común a todos los gráficos del sistema donde se crea un encabezado y se le da un fondo al gráfico. Aquí se define también el tamaño del área de trabajo de los gráficos. (Figura 4.3.3).

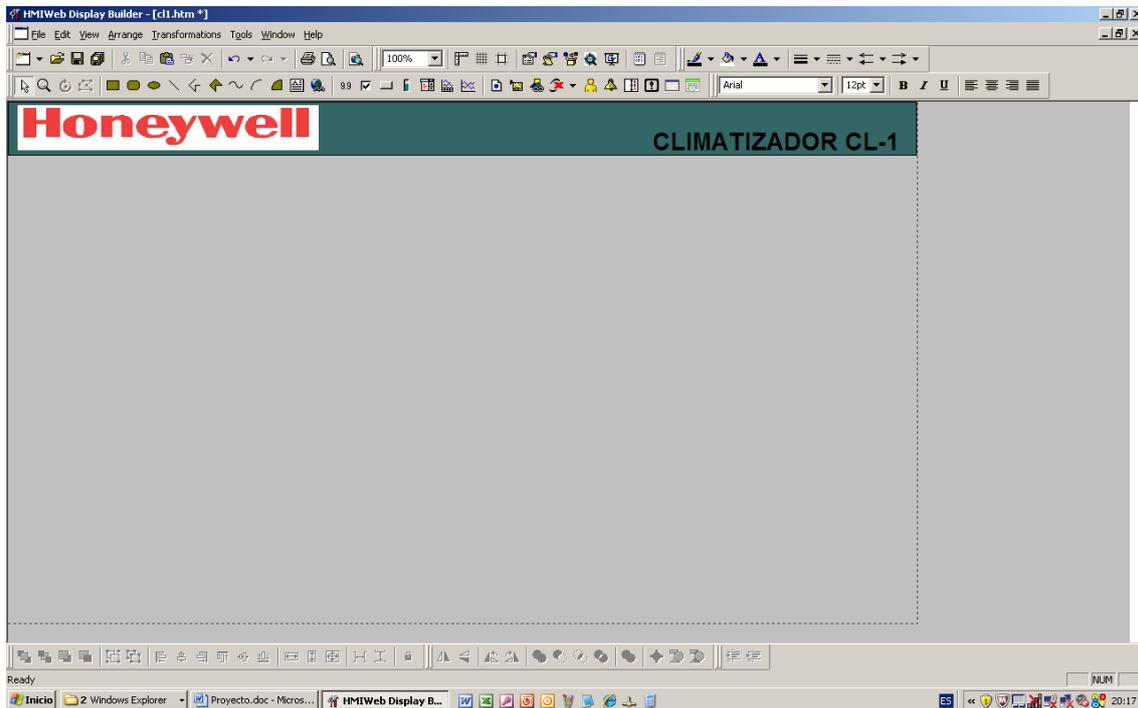


Figura 4.3.3

Para la creación de la base del gráfico se puede importar todo tipo de imágenes y animaciones en cualquier formato.

Una vez creada la base del gráfico hay que empezar a darle forma según el sistema que se quiera representar. En este caso el gráfico servirá para representar las señales pertenecientes a uno de los climatizadores, por lo que habrá que empezar dibujando el conducto que representará dicho climatizador.

Esta herramienta está específicamente diseñada para el dibujo de gráficos, generalmente de sistemas de climatización, por lo que cuenta con una amplia librería de dibujos y animaciones de aplicación a este tipo de sistemas. Para dibujar el climatizador se utilizarán dibujos de conductos sacados de la librería (Figura 4.3.4 y 4.3.5).

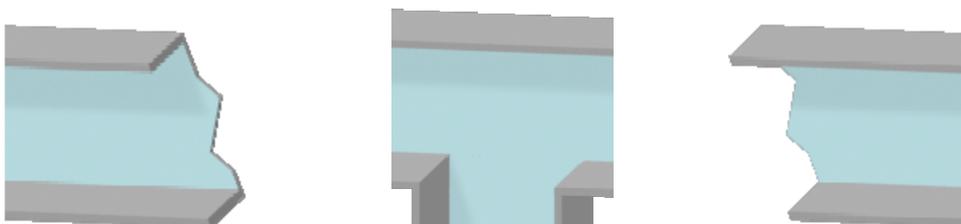


Figura 4.3.4

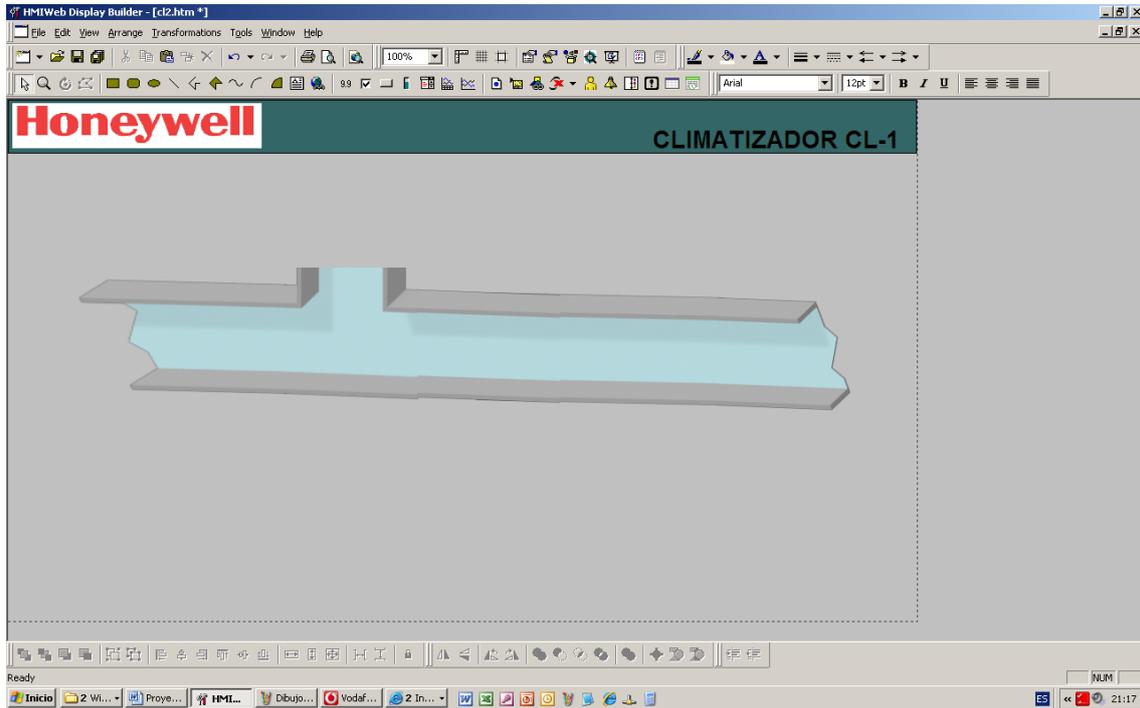


Figura 4.3.5

A continuación se insertan el resto de dibujos que representarán los distintos elementos del climatizador. Dichos dibujos se pueden obtener de la propia librería del programa o insertarlos de cualquier otro archivo (Figura 4.3.6).

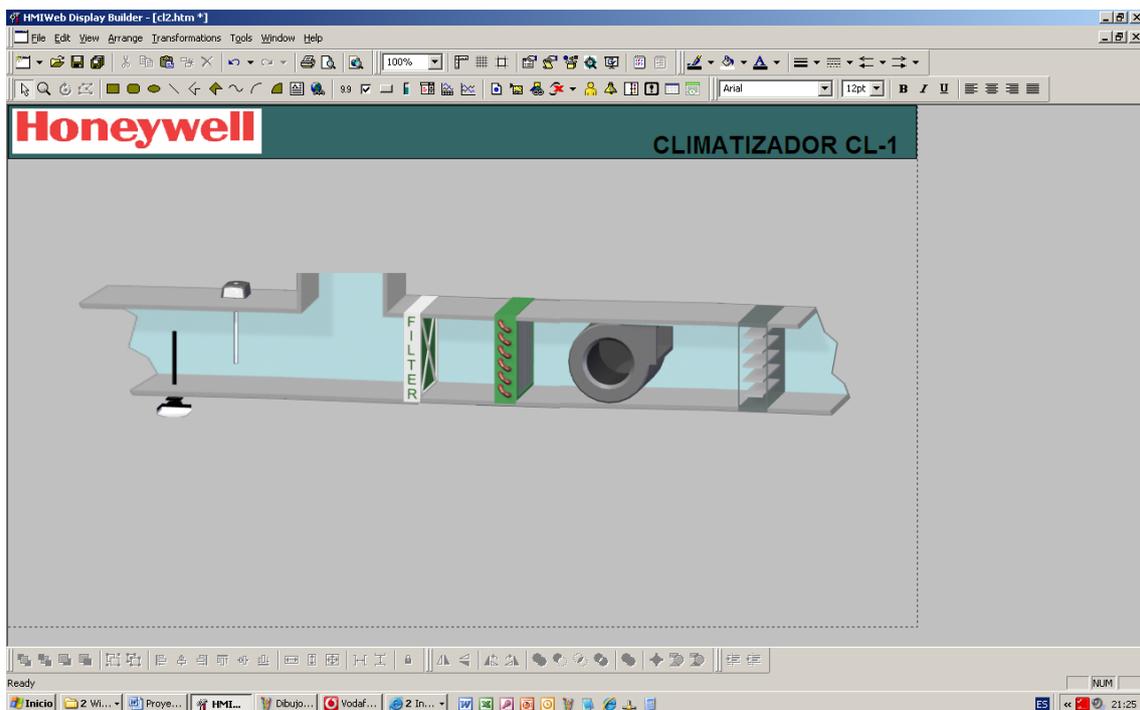


Figura 4.3.6

Algunos de los dibujos contienen animaciones de tipo “gif” a las que se le pueden asignar señales del sistema de control como por ejemplo, las aspas del ventilador que se mueven cuando la señal de estado de éste se encuentra en “On” y se quedan paradas cuando está en “Off”, una luz roja que parpadea cuando el ventilador está en alarma, un filtro que se pone rojo cuando salta la alarma de filtro sucio, etc (Figura 4.3.7).

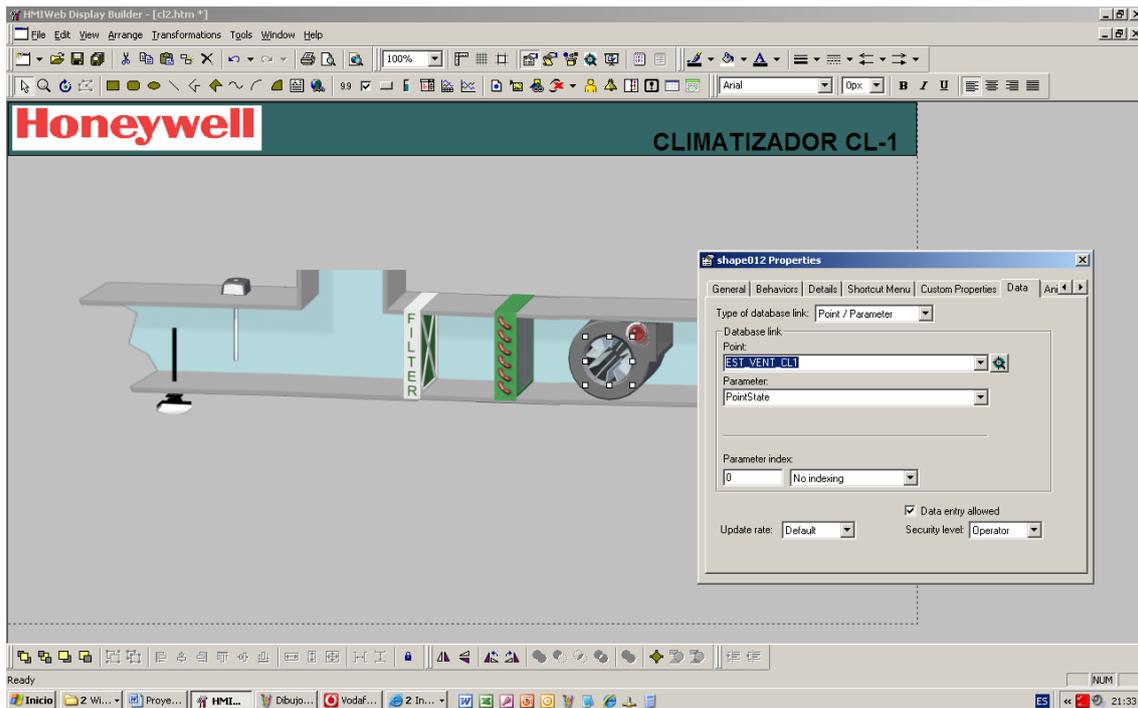


Figura 4.3.7

Para asignar una señal a un dibujo o a una animación basta con picar “doble click” sobre ella y aparecerá un cuadro de propiedades donde habrá que indicar el nombre que tiene la señal en la base de datos SQL, el tipo de señal y la asignación de los dibujos que tomará en función del valor de la señal.

Existen señales que no van asignadas a ningún dibujo, como pueden ser las medidas de temperaturas ambiente, la señal de “cambio de Invierno/Verano” de la instalación, etc. Para representar estas señales existen unos formatos disponibles en la librería. Los formatos más comunes son los cuadros numéricos para representar medidas analógicas y los “combo box” para representar señales multiestado (Figura 4.3.8).

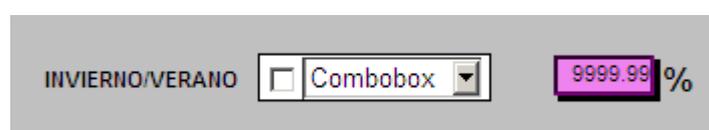


Figura 4.3.8

Una vez terminado el gráfico (Figura 4.3.9) es importante recordar que se debe guardar en la carpeta “Abstract” del sistema SCADA para que éste pueda acceder a él.

Se podrá acceder al gráfico, a través del SCADA, introduciendo en la barra de accesos a gráficos el nombre con el que se guardó en la carpeta “Abstract” o a través de botones de llamada a través de otros gráficos.

Picando “doble click” en cualquier dibujo o animación que tenga asignada una señal se accederá al detalle del punto donde se podrá forzar la señal de forma manual y acceder a las propiedades de la misma.

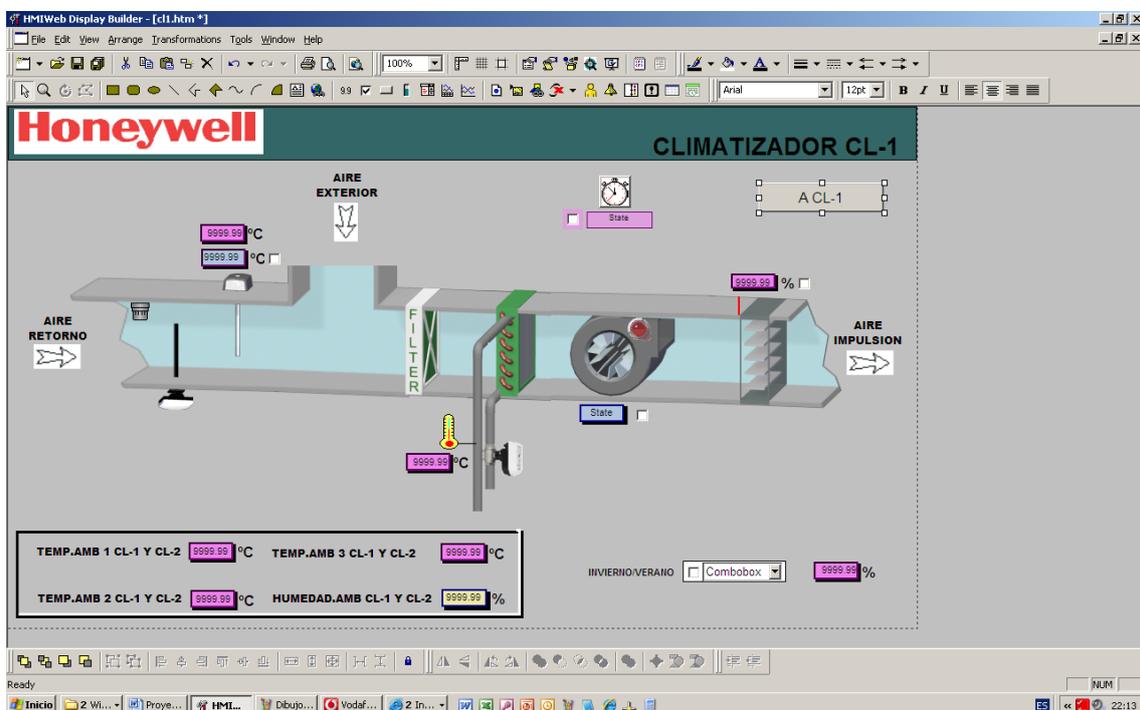


Figura 4.3.9

5

PUESTA EN MARCHA Y EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO. Seguimiento de puesta en marcha.

El seguimiento de puesta en marcha consiste en el desarrollo de una serie de procedimientos que determinarán el correcto funcionamiento del sistema de control, tanto de la instalación eléctrica como de todos los elementos que intervienen en él (controladores, equipos de campo, elementos de comunicación, sistema SCADA, etc.).

A través de la puesta en marcha se podrán detectar fallos o anomalías en cualquier parte, proceso o elemento del sistema de control. Se comprobarán las estrategias programadas y los lazos de regulación, así como la correcta interacción entre el sistema SCADA y el sistema de control.

El seguimiento de puesta en marcha se puede dividir en tres partes:

- Comprobación de controladores y elementos de campo (Punto a punto).
- Comprobación de programación (estrategias, tablas, lazos de regulación, etc.).
- Comprobación de gráficos y comunicación de señales con sistema SCADA.

Comprobación de controladores y elementos de campo (Punto a punto).

En el presente apartado se definirá el procedimiento que determinará el correcto funcionamiento de los controladores, equipos de campo e instalación eléctrica que sirve de alimentación para ambos y establece la comunicación entre ellos.

Se pobrarán de forma independiente cada uno de los elementos que conforman el sistema de control de los distintos procesos del sistema de climatización (producción de calor, producción de frío, torres de condensación, climatizadores y fancoils).

Para cada uno de los cinco procesos se realizarán las siguientes acciones:

- Una vez cargado el controlador habrá que conectarse de forma local a él, de la misma manera que se hizo para descargar el programa.
- Se accederá a la parte de visualización y manipulación de puntos físicos. A través del controlador existe la posibilidad de forzar de manera manual cualquier punto perteneciente a él. Se probará de forma individual cada una de las señales físicas, forzándolas de manera manual, para comprobar de manera visual que tanto la instalación eléctrica como los propios equipos funcionan correctamente y de acuerdo al valor de la señal dado.
- Para comprobar las salidas físicas digitales habrá que forzar todas ellas a su estado de reposo (“Off”). Se comprobará de manera visual que todos los elementos sobre los que actúan dichas señales se encuentran parados.
- Al mismo tiempo se comprobará que las entradas físicas digitales (estados) asociadas a las señales de marcha/parada que se están probando se encuentran en automático y con un valor de “Off”.
- Se forzarán de manera manual e individualmente cada una de las señales de marcha/parada del proceso, comprobando de manera visual que actúa sobre el elemento de campo correspondiente.
- Se comprobará que las señales de estado de los equipos sobre los que se actúa se corresponden con el valor de su orden de marcha/parada.
- Para el resto de entradas físicas digitales (alarmas, interruptores de flujo) se comprobará que, inicialmente, se encuentran en estado de reposo (“Normal”) para posteriormente puentear el contacto libre de tensión del propio equipo generador de la alarma y comprobar en el controlador cambia el valor de la señal a “Alarma”. De esta forma se comprobará el cableado eléctrico y el conexionado de los equipos.
- Para comprobar las entradas físicas analógicas (medidas de temperatura, humedad, presión, etc.) se contará con unas sondas debidamente calibradas, distintas a las instaladas en el sistema de control. Se tomará la lectura de cada una de las sondas del sistema de control directamente desde el controlador. Se tomarán las mismas medidas a través de las sondas calibradas. Siempre y cuando la lectura de la sonda del sistema de control se encuentre dentro del rango de $\pm 2\%$ de la lectura de la sonda calibrada, ésta se considerará como satisfactoria.
- Se comprobarán las salidas físicas analógicas. Todas estas señales se corresponden a regulaciones de actuadores y equipos pertenecientes a los climatizadores. En primer lugar se comprobarán las salidas que posicionan los actuadores de válvula de las baterías de los climatizadores. Se harán tres pruebas

por cada actuador forzando las señales de manera manual a los valores de 0%, 50% y 100% y se comprobará de forma visual que dicho posicionamiento es correcto. Del mismo modo se comprobará la señal de regulación de las compuertas de los climatizadores posicionando éstas a 0%, 50% y 100%. Por último se comprobará la señal de regulación de los variadores. De igual modo se forzará la señal a valores de 0%, 50% y 100% y se comprobará que la frecuencia de salida de la tensión del variador tiene un valor de 0Hz, 25Hz y 50Hz respectivamente.

Comprobación de programación.

Una vez certificado el correcto funcionamiento de las señales físicas y de los equipos de campo que intervienen en el sistema de control habrá que comprobar la programación cargada en los controladores (estrategias, tablas de verdad, horarios, lazos de regulación, etc.). De esta manera se certificará que la instalación es capaz de funcionar de manera automática de acuerdo a la memoria de funcionamiento definida.

Dicho proceso se puede realizar desde el propio controlador o desde el sistema SCADA. Se recomienda que dicha comprobación se realice desde el propio controlador. De esta manera, si se detecta algún fallo en la programación, se podrá modificar directamente desde el controlador, debido a la imposibilidad de hacerlo desde el SCADA

Se probarán de forma individual cada uno de los procesos del sistema de climatización y el procedimiento a llevar a cabo para cada uno de ellos será el siguiente:

- Todos los procesos se activan en función de un horario individual para cada uno de ellos. Inicialmente se forzará el horario a “Off” y se comprobará que el proceso se encuentra inactivo y que todos sus elementos y señales se encuentran en las posiciones de inactividad programadas.
- Se forzará el horario a “On” y se comprobará que el proceso se activa. Las máquinas relativas a dicho proceso comenzarán a funcionar de forma automática en función a la memoria de funcionamiento definida respetando los intervalos y retardos de activación entre ellas. Los lazos de regulación comenzarán a regular.
- Se modificarán los puntos de consigna para comprobar el correcto funcionamiento de los lazos de regulación y su correcta acción sobre los elementos de campo. En el siguiente apartado “Ejemplo de funcionamiento” se definirá este procedimiento de forma más detallada.
- Se forzarán las señales de alarma para comprobar que el proceso entra en estado de alarma y todos los elementos y señales se van a la posición de seguridad. Deberán permanecer en este estado hasta que se reestablezca la condición de “Normal”, momento en el cual el proceso comenzará a funcionar de forma automática.
- Por último, se forzará de nuevo el horario a “Off” y se comprobará que las máquinas y elementos se van desactivando respetando los intervalos y retardos entre ellos. Los lazos de regulación dejarán de regular.

Comprobación de gráficos y comunicación de señales con sistema SCADA.

Esta parte del proceso de puesta en marcha se realizará desde el sistema SCADA.

Se comprobarán todos los gráficos del sistema programados. Se accederá a cada uno de ellos y se comprobará que están dibujados todos los elementos correspondientes al proceso así como la correcta asignación y comunicación de las señales.

Se accederá a cada una de las señales y se comprobará que el nombre y controlador al que pertenecen es el correcto y no se ha asociado una señal distinta a otro elemento.

Se comprobará que tanto las señales como los horarios son accesibles desde el sistema SCADA.

5.2 Ejemplo de funcionamiento.

En el presente apartado se mostrará un ejemplo de funcionamiento del control y automatización de dos de los procesos del sistema de climatización.

Los ejemplos se mostrarán al nivel del sistema SCADA, tal y como lo vería un operador del sistema de control. Uno de los ejemplos que se tratará será el del proceso de producción de frío, donde se mostrará la interacción de éste con las torres de refrigeración. El otro ejemplo mostrará el funcionamiento de uno de los climatizadores.

Producción de frío.

Se comenzará con el proceso de producción de frío parado donde se observará el estado de los elementos y las señales que intervienen en él (Figura 5.2.1).

- Al encontrarse la señal de horario en “Off”, el proceso de producción de frío se encuentra parado. Esta señal prevalece sobre cualquier otra y es condición indispensable para la activación del proceso.
- Las tres bombas se encuentran paradas por lo que en el circuito primario de producción de frío no hay flujo de agua. Se observa que los detectores de flujo no marcan flujo de agua.
- La temperatura de impulsión del agua es muy elevada. Esto demuestra que los grupos de frío están parados.

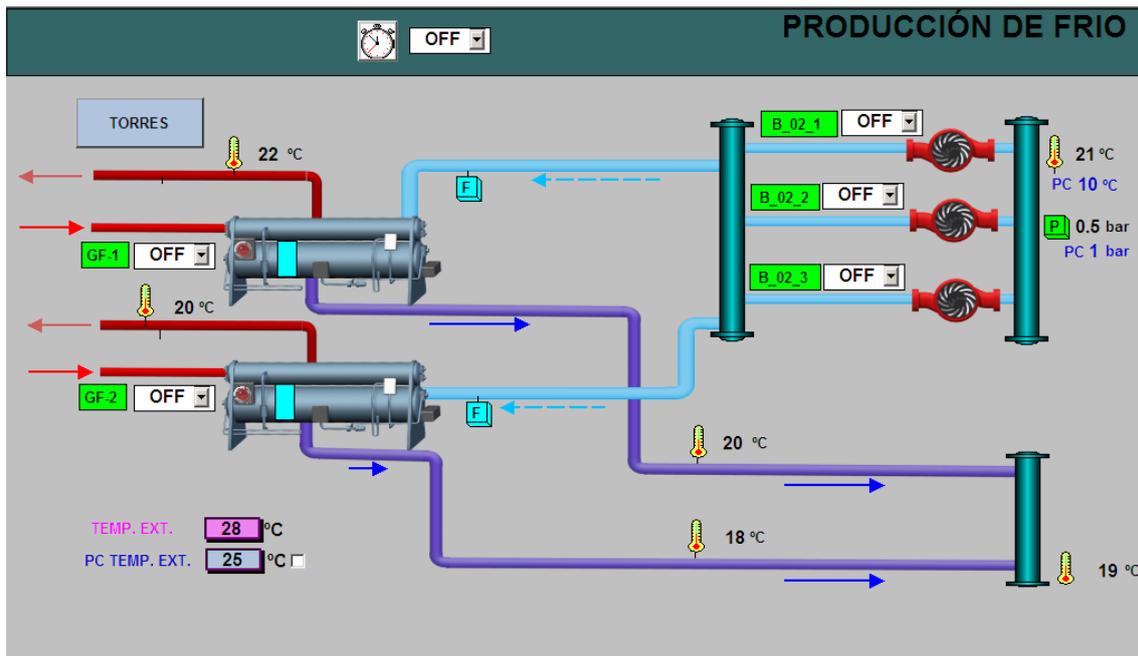


Figura 5.2.1

Seguidamente se activará el proceso de producción de frío y se observará la evolución y el funcionamiento de éste (Figura 5.2.2).

- Se activa la señal de horario para habilitar el proceso de producción de frío.
- Con el horario activado, el proceso de producción comenzará si la temperatura exterior (28°C) supera al punto de consigna introducido por el usuario (25°C).
- Al cumplirse esta condición se arrancarán las bombas del colector de retorno para impulsar el agua hacia los evaporadores de los grupos.
- Como la presión diferencial (0.5 bar) es inferior al punto de consigna introducido por el usuario (1 bar), se arrancarán dos de las tres bombas quedando la otra en estado de reserva.
- En este momento los detectores de flujo detectan paso de agua y, tras un retardo, darán permiso de activación a los grupos de frío.
- Se activarán los dos grupos en el caso de que la temperatura del colector de retorno (21 °C) sea superior al introducido por el usuario en el punto de consigna (10°C).
- Los dos grupos funcionarán de forma paralela hasta que la temperatura del colector de retorno sea inferior al punto de consigna.

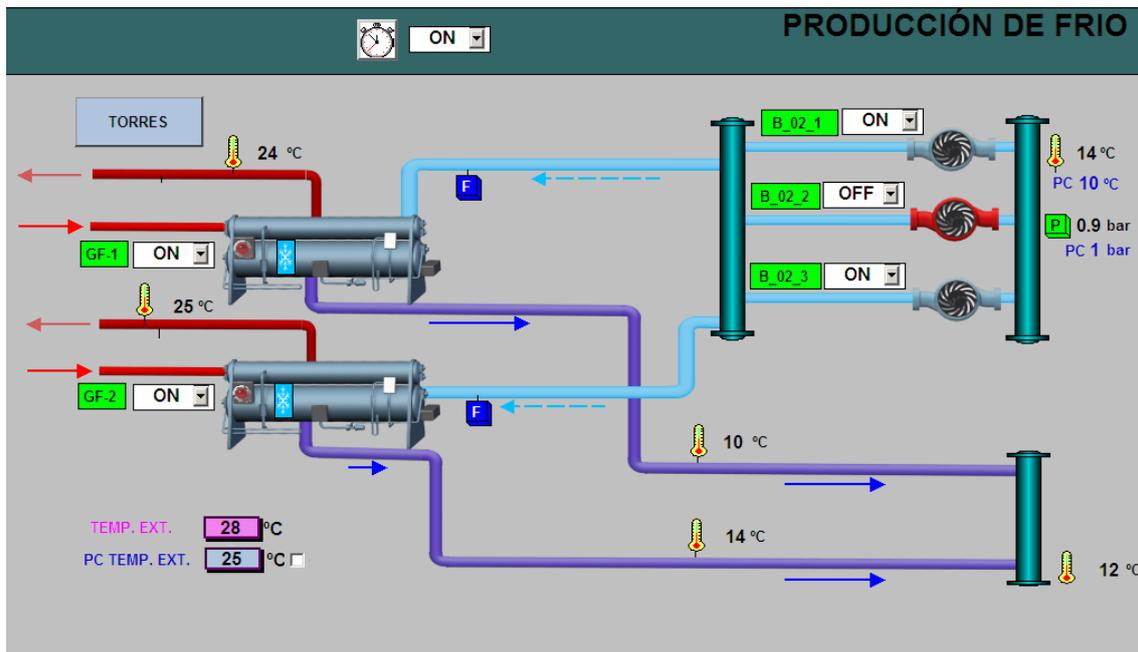


Figura 5.2.2

- Tras un pequeño período de tiempo con las bombas encendidas, se observa un aumento en la presión diferencial. En el caso de que alguna de las dos bombas dejase de funcionar, se activaría de forma automática la bomba 2 que se encuentra en estado de reserva.
- La activación de los grupos de frío provoca una disminución considerable en la temperatura del agua a la salida del evaporador y por lo tanto en el colector de impulsión. De aquí se conducirá el agua hasta las baterías de frío de los climatizadores y los fancoils.
- La activación de los grupos provoca un aumento en la temperatura del agua a la salida de los condensadores debido al funcionamiento de éstos. Es preciso enfriar el agua para refrigerar los propios grupos. El agua de la salida de los condensadores se conducirá hasta las torres de refrigeración que se encargarán de enfriarla para retornarla de nuevo.
- El estado de activación de los grupos de frío desencadena la activación del proceso de refrigeración (torres de condensación). (Figura 5.2.3)
- Al activarse este proceso se activan las bombas de condensación correspondientes a los grupos de frío que se encuentren funcionando. En este caso se encontrarán funcionando las bombas 1 y 3 debido a que los dos grupos están funcionando. La bomba 2 permanecerá parada en estado de reserva y se activará en el momento en que una de las otras dos fallase.
- La activación de las bombas provoca la refrigeración del agua. Si ésta no es suficiente se activarán los ventiladores de las torres. Para la activación de los ventiladores, la temperatura de salida del agua de las torres debe ser superior al punto de consigna introducido por el usuario.
- La temperatura del agua a la salida de la torre 2 (23°C) es superior al punto de consigna introducido por el usuario (22°C) lo que provoca la activación del ventilador de la torre.

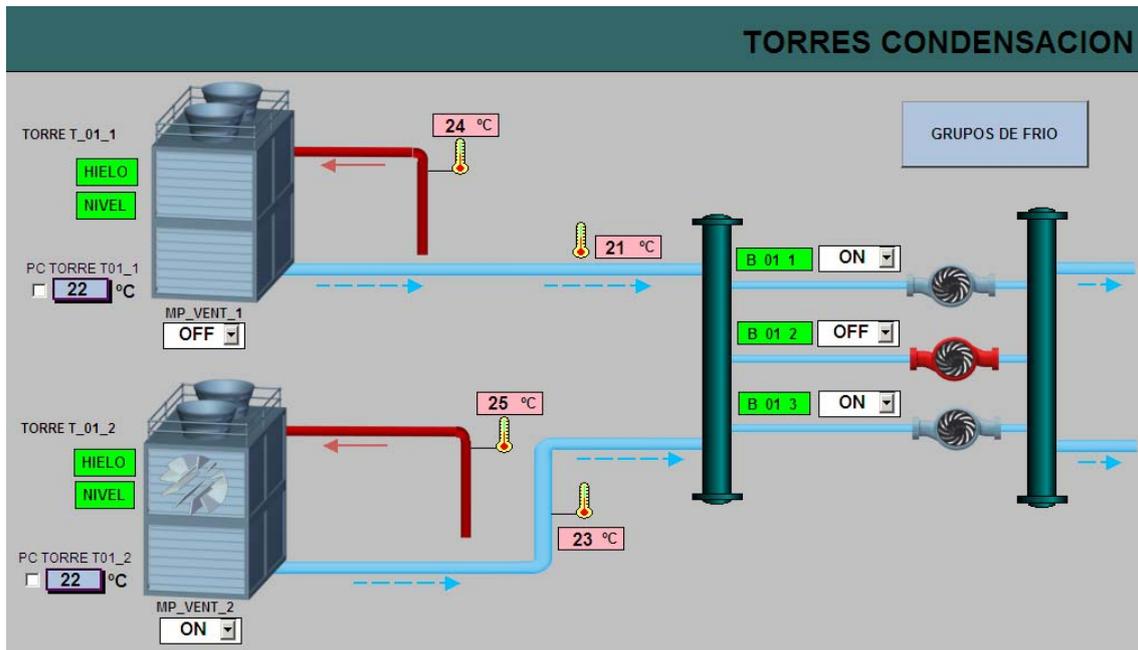


Figura 5.2.3

Climatizador CL-1.

Se comenzará con el climatizador apagado (Figura 5.2.4). Habrá que forzar la activación del CL-1 a través de la señal de horario y se observará el funcionamiento de todos los elementos y el proceso de regulación de los lazos.

- Con el climatizador apagado (señal de horario a "Off") se observa que los ventiladores de impulsión y retorno se encuentran apagados y la regulación del variador en 0%. Esto se demuestra claramente a través de la lectura de la presión de impulsión (40 Pa).
- Las válvulas de las baterías de los climatizadores se encuentran cerradas (0%) debido a que el lazo de regulación de temperatura está inactivo.
- Lo mismo sucede con el humectador y la señal de regulación de éste.
- Cuando el climatizador se encuentra parado, las compuertas exteriores se posicionan en el valor mínimo de aporte de aire exterior.

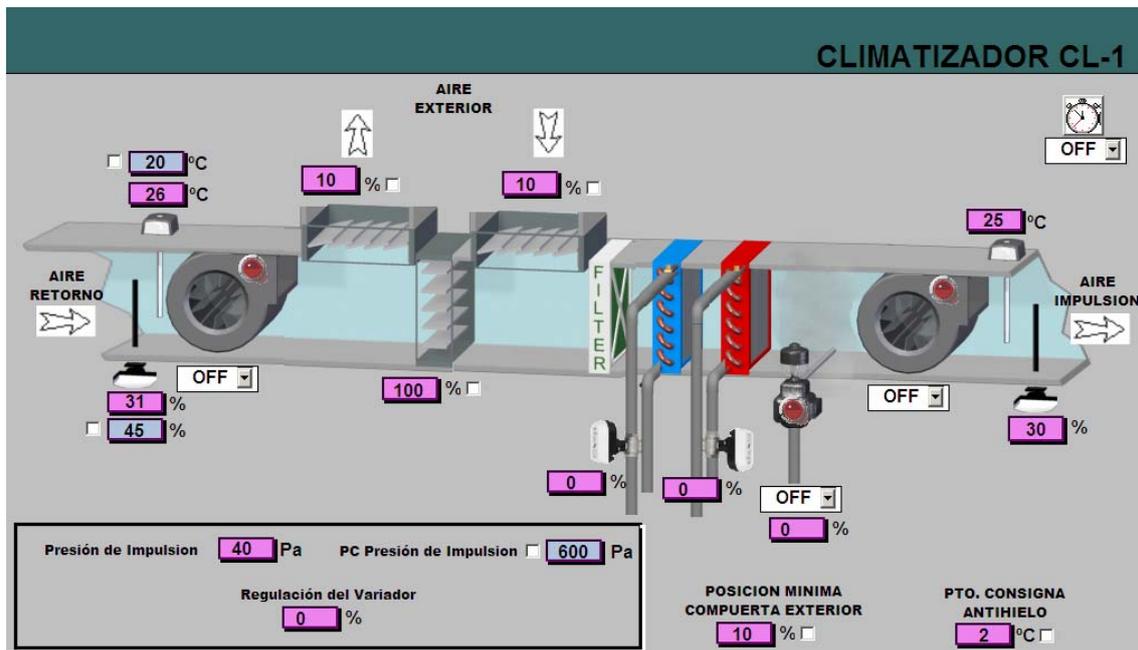


Figura 5.2.4

- Una vez que se active el climatizador (señal de horario a “On”) se activará el ventilador de impulsión (Figura 5.2.5). Transcurridos unos segundos, tras recibir la señal de estado del ventilador de impulsión, se activará el ventilador de retorno.
- Tras activarse los ventiladores, los lazos de control comenzarán a regular.
- Se observa un aumento en la presión de impulsión (400 Pa) aunque sigue siendo inferior al punto de consigna introducido por el usuario, luego el PID que controla el lazo comienza a aumentar la regulación del variador (60%) aumentando la velocidad de los ventiladores con el fin de estabilizar la presión de impulsión al punto de consigna (600 Pa).
- El climatizador controla la humedad a través de la humedad de retorno. La lectura de la sonda marca 33% y el punto de consigna introducido por el usuario se corresponde a un 45% de humedad. El lazo comienza a regular activando el humectador y aumentando de manera progresiva el aporte de humedad de éste. Se observa un rápido aumento de la temperatura de impulsión.
- La temperatura de retorno del climatizador se encuentra 4°C por encima del punto de consigna por lo que el climatizador necesita aportar frío.
- Debido a que la temperatura exterior es menor que la temperatura de retorno del aire se abrirán las compuertas de aire exterior y se cerrará la de mezcla para expulsar el aire de retorno y coger aire ambiente más frío y menos costoso de enfriar.
- Si el proceso de freecooling no es suficiente para enfriar el aire, el PID comenzará a actuar sobre la válvula de frío del climatizador abriéndola de manera progresiva y manteniendo cerrada la de la batería de calor.

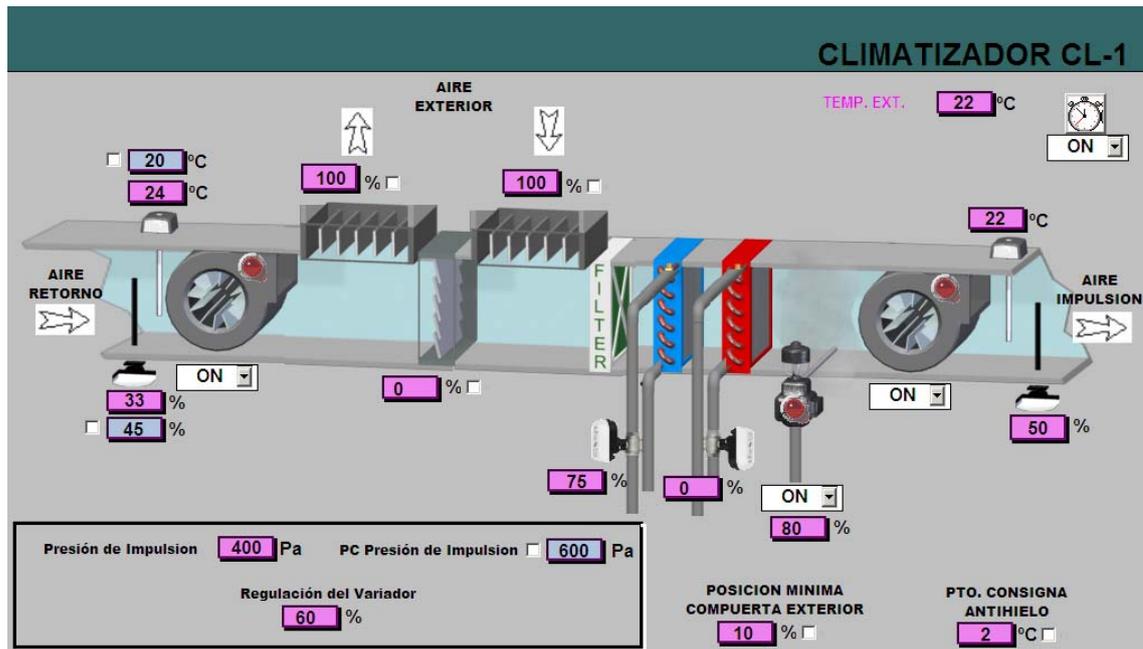


Figura 5.2.5



6

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS. Conclusiones.

Con el desarrollo y ejecución del presente proyecto se ha conseguido implementar un sistema automático de control de aplicación al sistema de climatización de un edificio de oficinas.

Se ha dotado a todos los procesos del sistema de climatización (producción de calor, producción de frío, torres de condensación, climatizadores y fancoils) de un control que les permite funcionar de manera autónoma e interactuar entre sí teniendo en cuenta las condiciones ambientales exteriores y la demanda de consumo del edificio, dando lugar a una optimización de todos los procesos y a una optimización en el consumo energético.

Junto con el sistema de control se ha implementado un sistema de integración a través de un SCADA que recoge toda la información del estado del sistema en tiempo real y la muestra al usuario permitiéndole tener un control total de la instalación. A través de él se puede acceder a todas las señales del sistema y actuar sobre ellas.



De este modo se consigue satisfacer las necesidades del cliente desarrollándole un sistema de control totalmente integrado que le permite un acceso total a cada uno de los procesos del sistema de climatización de su edificio y le muestra toda la información de su estado de funcionamiento en tiempo real y con un simple golpe de vista.

El principal requerimiento del cliente se basaba en disponer de un sistema de control totalmente automático y un único ordenador desde el que pudiera acceder de manera rápida a toda la información del sistema de climatización de su edificio y que le avisase, mediante la generación de alarmas, en el momento en que se produciese alguna avería en alguna parte del sistema o éste funcionase de manera anómala. De este modo conseguiría poder centrarse en el objeto de producción de su negocio ya que si no dispusiese del sistema de control se precisaría de una revisión constante de éste y de una actuación manual por parte de los operarios para adecuarlo a las necesidades y condiciones de cada momento, lo que se traduciría en un aumento de la necesidad de tiempo, recursos humanos y dinero.

Actualmente, dotar a un edificio de un sistema de control totalmente integrado supone un desembolso inicial elevado pero este desembolso es rápidamente amortizado debido a que el control de los procesos les permite aprovechar las condiciones exteriores optimizando y reduciendo de manera considerable el consumo energético. Del mismo modo se produce un ahorro económico debido a que el sistema es capaz de funcionar por sí solo y no precisa de una revisión y actuación constante sobre él.

El sistema de control e integración desarrollado permite la interacción de éste con máquinas y elementos de otras marcas ya que soporta comunicaciones de protocolos LON-Works, OPC, BacNet, ModBus, etc. Esto posibilita las futuras ampliaciones e integraciones que se lleven a cabo en el sistema de climatización o en cualquier otro sistema del edificio (sistema de protección contra incendios, sistema de seguridad, sistema de control de accesos, etc.).

El haber implementado cada proceso con un controlador independiente ha dado lugar a que éstos dispongan de memoria y de capacidad de gestión de señales suficiente como para, en un futuro, ampliar el número de señales de éstos o los algoritmos de programación en caso de que se quiera o sea necesario.

El funcionamiento del sistema de control, transcurridos unos meses, ha reflejado algunas partes del desarrollo que podían haberse mejorado y que se tendrán en cuenta en el desarrollo de proyectos futuros.

La instalación de un controlador independiente para cada uno de los fancoils instalados en el edificio ha dado lugar a una pequeña pérdida en la optimización del consumo energético. La idea que impulsó este echo consistía en la posibilidad de disponer de un sistema de control independiente para cada fancoil que posibilitase al usuario final tener un control total sobre éste en función de sus necesidades. La idea es buena para fancoils que se encuentren dentro de zonas cerradas, como pueden ser los despachos de los directivos del edificio, pero no en las zonas diáfanas debido a que las necesidades no son iguales para todo el mundo.

La proximidad entre fancoils, en las zonas diáfanas, y las discrepancias entre las necesidades de cada uno de los usuarios finales, ha dado lugar a que una persona que tenga frío y esté situada cerca de un fancoil dispondrá el funcionamiento de éste en modo calor, mientras que la persona de al lado, que tiene calor, dispone el suyo en modo frío. De esta forma se está produciendo una pérdida energética debido a que ambos se encuentran en la misma zona diáfana y muy cercanos.

Para proyectos futuros se considerará la opción de controlar varios fancoils, que se encuentren en la misma zona diáfana y próximos, a través de un único controlador por lo que se dispondrá de un mejor control de la zona y dará lugar a una reducción en el consumo energético.

6.2 Trabajos futuros.

La posibilidad de integración de máquinas de otras marcas en el sistema de control de climatización y la integración de otros tipos de sistemas en el SCADA basa los trabajos futuros de aplicación al presente proyecto en la integración, en el sistema de climatización, de máquinas de otras marcas que funcionarán de manera autónoma e interactuarán con los actuales procesos existentes.

Se planteará la posibilidad de integrar en el sistema SCADA un sistema de protección contra incendios y que éste sea capaz de actuar sobre el sistema de climatización.

La primera ampliación se basa en la integración en el sistema de control de climatización de un grupo de frío de la marca “Carrier” que funcionará de manera autónoma y que se instalará en la cubierta del edificio.

Este grupo se instalará con el fin de servir de apoyo a los dos grupos existentes, o para el caso en que alguno de los dos se averiase. Dispone de un controlador propio que hace las funciones de regulación y gestiona todas las señales de éste. Este controlador es capaz de comunicar utilizando protocolo LON-Works. Se integrará en el sistema a través del controlador que gestiona el proceso de producción de frío mediante comunicaciones LON-Works y se podrá acceder y actuar sobre las señales del grupo. De esta forma, el proceso de producción de agua fría existente interactuará con el grupo de frío instalado en la cubierta para activarlo y desactivarlo en función de la demanda o en caso de que uno de los otros dos grupos falle. Todas las señales del grupo de frío se integrarán en el sistema SCADA y se podrá acceder a ellas desde él.

El cliente plantea la posibilidad de desarrollar un sistema de protección contra incendios que sea capaz de integrarse en el mismo SCADA donde se encuentra integrado el sistema de climatización, sin tener la necesidad de disponer de dos SCADA independientes y posibilitando la interacción entre ambos sistemas.



Se le plantea la opción de instalar un sistema de protección contra incendios gestionado por una centralita de incendios de la marca Honeywell que comunica a través de protocolo ModBus. Constará de 6 lazos, uno para cada planta del edificio, en el que se dispondrán los detectores, pulsadores, sirenas y retenedores de puertas. La centralita albergará los algoritmos de programación para disparo de sirenas y retenedores. Todas las señales que alberga la central de incendios se integrarán en el sistema SCADA EBI que mostrará a través de los planos de planta del edificio cada uno de los dispositivos de PCI que alberga. El propio SCADA generará alarmas acústicas y visuales en el caso de que se produzca una alarma en el sistema de PCI.

Se programará una interacción desde el propio SCADA entre el sistema de climatización y el sistema PCI. En el caso en que se produzca una alarma de incendios se parará de manera automática el sistema de climatización según la normativa vigente de aplicación.



7

PROPUESTA ECONÓMICA.





PUESTO CENTRAL Y SOFTWARE EBI

Uds.	Referencia	Descripción	Precio Total
1	NW-Server	Servidor. Procesador Intel® Quad Core Xeon® 5410 2.33Ghz/2*6Mb Cache 1333 FSB - Disquetera 1,44 4 Gb RAM (4*1 GB) 667 Mhz DISCO SAS 73 Gb 10.000RPM Admite hasta 2 unidades de disco Unidad de combo Lector DVD Grabador CD Sin Monitor Hasta 600 Gb de almacenamiento interno máximo Tarjeta Dual integrada NIC Gigabit Fuente de alimentación Redundante Windows 2003 Server ingles. (licencia 2003server) Ventiladores conectables en marcha y redundantes Garantía 3 años GOLD24*7*4Formato Rack	2.725€
1	HNW-Station	Estación Operador. Procesador Intel Pentium 8500 /2.33GHz Core 2 DUO con FSB a 1333Mhz Chipset Intel Q35 Express 2 GBMB (2x1 GB) Memoria DDR800 Mhz , 4 slots, máximo 4GB Disco duro Serial Ata 250 GB 7.200 r.p.m. Unidad Optica, DVD+-RW Tarjeta de Sonido Integrada en Placa base ADI 1981 AC97 Tarjeta de red Ethernet LOM integrada 10/100/1000 Monitor 1708 FP TFT Sistema Operativo Microsoft Windows XP Profesional Chasis Optiframe Formato Minitorre Tres años de garantía de servicio “ in - situ”. Business Support	1.254€
1	EBI-BASE02	Software EBI de hasta 500 puntos. Incluye licencia para 12 lectoras, software de generación de gráficos y software de generación de bases de datos. Incluye dos licencias para estación de operador. Incluye ANTIVIRUS de reconocido prestigio, y software de copia de seguridad ACRONIS true image echo server para windows.	1.2524€
1	EBI-PADIC3500	Licencia adicional EBI de 3.500 puntos. Amplía la licencia básica EBI-BASE02 hasta los 4.000 puntos.	4.178€

TOTAL PARTIDA	20.681€
----------------------	----------------

INGENIERÍA Y PUESTA EN MARCHA

Uds.	Referencia	Descripción	Precio Total
1	P.A.	Partida de trabajos de configuración y puesta en marcha del ordenador del centro de control. Instalación de software necesario. Instalación de estación de operador. Trabajos de configuración a realizar en instalaciones de Honeywell y en instalación de cliente. Desplazamientos y dietas.	6.100€
1	P.A.	Partida de trabajos de programación y puesta en marcha de los controladores implementados en la instalación. Trabajos a realizar en instalaciones de Honeywell y en instalación de cliente. Desplazamiento y dietas.	17.800€

TOTAL PARTIDA	23.900€
----------------------	----------------

MATERIAL DE CAMPO

Uds.	Referencia	Descripción	Precio Total
2	H7508A1042	Sonda combinada de temperatura y humedad exterior.	102€
60	H7012B1023	Sonda combinada de temperatura y humedad ambiente.	2.580€
12	VF20	Sonda de temperatura de inmersión.	648€
4	H7015B1020	Sonda combinada de temperatura y humedad de conducto.	148€
2	DPT1000	Transmisor de presión diferencial de conducto.	348€
4	MCDFS74	Interruptor de caudal.	324€
4	DPS500	Presostato de presión diferencial	484€
2	FHBN5	Transmisor de presión diferencial de tubería.	454€
4	VEGASON 61	Medidor de nivel de depósito	1.364€
6	N34010	Actuadores de compuerta proporcionales.	1.188€
4	ML7425B3004	Actuadores proporcionales para válvulas de climatizadores.	721€
144	M7410C	Actuadores proporcionales de válvulas para fancoils.	6.048€

TOTAL PARTIDA	14.409€
----------------------	----------------



INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CABLEADO DE CONTROL

Uds.	Referencia	Descripción	Precio Total
1	P.A.	Partida de instalación eléctrica y de cableado de los elementos de regulación y control. Incluye cableado, tubos de protección y mano de obra. Incluye cableado interno de cuadros de control.	21.000€

TOTAL PARTIDA	21.000€
----------------------	----------------

HARDWARE

Uds.	Referencia	Descripción	Precio Total
5	XCL8010A	CPU para Excel 800	9.000€
2	XF822A	Módulo de la familia Excel 800 Panel de 8 salidas analógicas.	404€
5	XF821A	Módulo de la familia Excel 800 Panel de 8 entradas analógicas.	1.010€
4	XF823A	Módulo de la familia Excel 800 Panel de 12 Entradas digitales.	808€
4	XF824A	Módulo de la familia Excel 800 Panel de 6 salidas digitales de relé.	808€
7	XS821-22	Bloque de terminales XL800 para AI, AO	679€
4	XS823	Bloque de terminales XL800 para DI	388€
4	XS824-25	Bloque de terminales XL800 para DO	388€
72	W7754Q1008	Controlador Excel 10 para control de fancoils. Alimentación 220Vca.	421€
1	Q7055B1005	Interface BNA para un C-Bus de Excel 5000, 100Mb	354€

TOTAL PARTIDA	14.260€
----------------------	----------------

TOTAL PRESUPUESTO	94.250€
I.V.A. (7%)	6.597,5€
BASE IMPONIBLE	100.847,5€





8

REFERENCIAS.





- [1]http://gtts.ehu.es/dEyE/Actualizable/Anual/Curso0506/VI_Jornadas_IE/trabajos_dirigidos/Gomez_de_la_Riva.pdf
- [2] Instalaciones de producción de calor. César González Valiente y Francisco Javaloyas Grau.
- [3] FRÍO INDUSTRIAL: MÉTODOS DE PRODUCCIÓN. Enrique Torrella Alcaraz 2010 (1ª Edición). ISBN: 978-84-96709-33-1.
- [4] TORRES DE REFRIGERACION. MIRANDA BARRERAS, ANGEL LUIS Y OTRO. ISBN: 978-84-329-6556-2
- [5] MANUAL DE CALEFACCIÓN. Autores: Luis Jutglar, Ángel Luis Miranda y Miguel Villarrubia. Año 2011 (1ª Edición).
- [6]<http://www.caloryfrio.com/200811124474/aire-acondicionado/aire-acondicionado-individual/fan-coil.html>
- [7] Control Sistemas Aire Acondicionado. J. A. Gámiz edic. Abr./2000 - 1ª edición.
- [8] Reglamento electrotécnico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT 01 a BT 51 REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. Suplemento con el Reglamento electrotécnico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT 01 a BT 51. España.
- [9] Regulación de las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica REAL DECRETO 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- [10] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) Real Decreto 249/2010, de 5 de marzo
- [11] Datasheet XL50 SP Home and Building Control Products Honeywell.
- [12] Datasheet XL5010 SP Home and Building Control Products Honeywell
- [13] Datasheet XL8010 SP Home and Building Control Products Honeywell
- [14] Datasheet XL10 SP Home and Building Control Products Honeywell
- [15] Datasheet H7508A Home and Building Control Products Honeywell
- [16] Datasheet H7012 Home and Building Control Products Honeywell



- [17] Datasheet VF20 Home and Building Control Products Honeywell
- [18] Datasheet H7015 Home and Building Control Products Honeywell
- [19] Datasheet DPT1000 Home and Building Control Products Honeywell
- [20] Datasheet MCDFS Home and Building Control Products Honeywell
- [21] Datasheet DPS500 Home and Building Control Products Honeywell
- [22] Datasheet FHBN Home and Building Control Products Honeywell
- [23] VEGASON61 VEGA Grieshaber KG, Schiltach/Germany 2009 Document ID:28778
- [24] Datasheet N3424 Home and Building Control Products Honeywell
- [26] Datasheet ML7425 Home and Building Control Products Honeywell
- [27] Datasheet M7410C Home and Building Control Products Honeywell
- [28] <http://www.nichese.com/contactor.html>
- [29] Datasheet Q7055B1005 Home and Building Control Products Honeywell
- [30] Manual EBI Version R310 Home and Building Control Products Honeywell
- [31] Guía del prrgramador EXCEL CARE. Home and Building Control Products Honeywell