

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO - CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ESTUDIO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ETHERNET PARA EL
CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA EN QUIRÓFANOS**

RICARDO JAVIER ZURITA PEREIRA

**INFORME FINAL DEL PROYECTO
PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO
DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR
AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Abril de 2018

**ESTUDIO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ETHERNET PARA EL
CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA EN QUIRÓFANOS**

INFORME FINAL

Presentado en cumplimiento de los requisitos
para optar al título profesional de
Ingeniero Electrónico
otorgado por la
Escuela de Ingeniería Eléctrica
de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Ricardo Javier Zurita Pereira

Profesor Guía
Profesor Correferente

Sr. Abelardo Muñoz Gamboa
Sr. Eduardo Muñoz Ponce

Abril de 2018

ACTA DE APROBACIÓN

La Comisión Calificadora designada por la Escuela de Ingeniería Eléctrica ha aprobado el texto del Informe Final del Proyecto de Titulación, desarrollado entre el segundo semestre de 2008 y el primer semestre de 2009, y denominado

ESTUDIO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ETHERNET PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA EN QUIRÓFANOS

Presentado por el Señor

Ricardo Javier Zurita Pereira

Abelardo Muñoz Gamboa

Profesor Guía

Eduardo Muñoz Ponce

Segundo Revisor

Sebastián Fingerhuth Massmann

Secretario Académico

Valparaíso, Abril de 2018

A mi familia por el
apoyo incondicional y a mi hija
Isidora por darme razones para
superarme cada día.

ESTUDIO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ETHERNET PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA EN QUIRÓFANOS

Ricardo Javier Zurita Pereira

Profesor Guía Sr. **Abelardo Muñoz Gamboa**

RESUMEN

El presente estudio se desarrolla en el Hospital Naval Almirante Nef de la ciudad de Viña del Mar, institución sanitaria de las Fuerzas Armadas que cuenta con un sistema de control y monitoreo de procesos como la red de alarma de incendios, los ascensores, estado de refrigeradores de vacunas, manejadoras de aire para el sistema de climatización, entre otros. Precisamente el sistema de climatización del hospital es objeto de estudio ya que presenta falencias en cuanto a implementación, y las variables de interés como la temperatura y el estado de las válvulas no están siendo monitoreadas.

Para incorporar nuevos procesos y variables a la red de controladores de la central de control y monitoreo es necesario modernizar ésta red, que hoy cuenta con un sistema de control centralizado que pone en riesgo la estabilidad del sistema al depender de un controlador central.

La red Ethernet de controladores propone un cambio radical en la forma de controlar y monitorear los procesos al poseer una estructura de bus y contar con estándares abiertos para la incorporación de nuevos productos, lo que abre un abanico de posibilidades mucho mayor que la existente hoy en día.

Al ser los pabellones un área crítica dentro del hospital la modernización de los controladores permite un control apropiado de la temperatura en ellos.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE	3
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE	4
1.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	6
1.4 CALDERA DE CALEFACCIÓN	8
CAPÍTULO 2	
INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN	11
2.1 VARIABLES PRESENTES EN EL CONTROL DE TEMPERATURA	11
2.2 EQUIPAMIENTO	11
2.3 INSTRUMENTACIÓN	15
2.3.1 Válvulas proporcionales	16
2.3.2 Cableado de la válvula	16
2.3.3 Transductor de temperatura	18
2.3.4 Cableado del transductor	18
CAPÍTULO 3	
INTEGRACIÓN DEL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE A LA RED ETHERNET	20
3.1 INTRODUCCIÓN	20
3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE UNA RED RIO	21
3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS DISTINTAS REDES	24
3.3.1 Ethernet/IP	25
3.3.2 Controlnet	26
3.3.3 Devicenet	26
3.3.4 Red Data Highway Plus	26
3.3.5 Red DH-485	27
3.3.6 Entradas/Salidas remotas universales (RIO)	28
3.3.7 Red en serie	30
3.4 TOPOLOGÍA DE RED ACTUAL	31
3.4.1 Topología física	33
3.4.2 Topología lógica	33
3.5 SISTEMA INTEGRADO A LA RED ETHERNET	35
CAPÍTULO 4	
EQUIPAMIENTO QUE SOPORTA EL SISTEMA INTEGRADO	41
4.1 INTRODUCCIÓN	41
4.2 SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE LA RED	42
4.2.1 Módulos de entrada/salida de los controladores	42
4.2.2 Comunicaciones de red	44
4.2.3 Procesador SLC 500	44
4.2.4 Chasis SLC 500	45
4.2.5 Fuentes de alimentación eléctrica	45

4.2.6	Software de programación	46
4.2.7	Conmutador Ethernet	48
4.2.8	Medios de red	49
4.2.9	Tarjeta de red (NIC)	50
4.3	CONFIGURACIÓN DE LA RED MEDIANTE SOFTWARE	50
CAPÍTULO 5		
MODELACIÓN DEL PROCESO PARA EL CONTROL DE LAS VARIABLES		57
5.1	INTRODUCCIÓN	57
5.2	IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA	57
5.3	PROCESO DE ADQUISICIÓN DE DATOS	59
5.4	CURVAS DE REACCIÓN DE LA TEMPERATURA	60
5.4.1	Estimación de los parámetros de la función de transferencia	63
5.5	VALIDACIÓN DEL MODELO OBTENIDO	65
5.6	SIMULACIÓN DEL CONTROL EN MATLAB	67
5.6.1	Sintonización de los controladores PID	68
CAPÍTULO 6		
EMULACIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO EN UN SISTEMA PROTOTIPO		72
6.1	INTRODUCCIÓN	72
6.2	CONFIGURACIÓN FÍSICA DE LA RED	73
6.3	CONFIGURACIÓN LÓGICA DE LA RED	73
6.4	CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR OPC	75
6.4.1	Cliente OPC	76
6.5	CONFIGURACIÓN DE LA HMI DEL PROCESO	76
CAPÍTULO 7		
EVALUACIÓN ECONÓMICA		81
7.1	INTRODUCCIÓN	81
7.2	INVERSIÓN INICIAL	82
7.3	COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO	82
7.4	COSTOS DE ADMINISTRACIÓN	84
7.5	COSTOS FIJOS OPERACIONALES	84
7.6	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	85
7.6.1	VAN	85
7.6.2	Tasa interna de retorno (TIR)	86
7.7	ANÁLISIS DE PÉRDIDAS	86
CONCLUSIONES		91
BIBLIOGRAFÍA		93
APÉNDICE A		
LISTADO DE LAS MANEJADORAS, ESPECIFICACIONES DE LA INSTRUMENTACIÓN Y PLANO DE REFERENCIA		A-2
APÉNDICE B		
PLANOS ESQUEMÁTICOS DE LAS DISTINTAS REDES		B-2

APÉNDICE C CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS SLC 500	C-2
APÉNDICE D CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN	D-2
APÉNDICE E ESQUEMA CIRCUITAL DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	E-2
APÉNDICE F CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE STEP 7 MICRO/WIN32 Y DEL SERVIDOR OPC KEPLER SERVER EX	F-2

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Backplane:	Carrier horizontal en el cual se montan las tarjetas de I/O de un PLC u otro equipo de control.
CCM:	Central de control y monitoreo.
EIA:	Asociación de industrias electrónicas.
G 21-27:	Nomenclatura utilizada para diferenciar las unidades manejadoras de aire. Hace referencia a una manejadora específica.
HMI:	Interfaz hombre máquina. Interfaz gráfica que permite a un operador monitorear procesos. Del inglés human machine interface.
HEPA:	Filtro de alta eficiencia que impide el paso de partículas con un tamaño mayor a las 3 micras. Del inglés high efficiency particulate air.
IAB:	Integrated Architecture Builder. Software para la configuración y simulación de redes industriales con productos Allen Bradley.
ISO:	Organización de estándares internacionales.
LAN:	Red de área local. Del inglés local area network.
Módulos 1746:	Módulo de los módulos de entradas y salidas, análogas y discretas que soportan los controladores SLC 500.
NIC:	Tarjeta de interfaz de red.
OSI:	Interconexión de sistemas abiertos.
PLC:	Controlador lógico programable. Del inglés programmable logic controller.
RIO:	Red de PLC de Rockwell Automation. Red de entradas y salidas remotas. Del inglés remote input output.
Rockwell:	Rockwell Automation es una empresa norteamericana que desarrolla productos y servicios para el ambiente industrial.
SCADA:	Sistema de control supervisión y adquisición de datos.

Tag:	Registro digital direccionado en el servidor del sistema de control, que es modificado por una variable física en terreno y al cual accede el software HMI para registrar el cambio de manera gráfica.
TIA:	Asociación de industrias de las telecomunicaciones.
TIR:	Tasa interna de retorno.
UMA:	Unidad manejadora de aire.
URD:	Unidad recolectora de datos.
VAN:	Valor actual neto.

INTRODUCCIÓN

El quirófano o sala de operaciones de un hospital, es el sector que reviste mayor atención y cuidado en lo que respecta a condiciones ambientales del lugar. En todas las secciones de un hospital se manejan cuidados de esterilización y asepsia, y el quirófano no es la excepción. Pero es en este lugar donde las condiciones climáticas no solo juegan un rol en la comodidad de los médicos y pacientes sino que también en la transmisión de infecciones a través del aire.

Muchos hospitales cuentan en la actualidad con sistemas de control de temperatura en los quirófanos que no proporcionan mayor seguridad ya que el control se realiza en forma manual. Los equipos de tratamiento de aire son controlados principalmente por PLC en aquellos hospitales que cuentan con mayores recursos, y si el sistema es aún más sofisticado puede existir una estación central desde la que es posible intervenir en ellos si se produce alguna falla. Para el correcto monitoreo de estos equipos es necesario un controlador o una red de controladores programables que envíen la información relevante hacia una central.

Existen diferentes plataformas de control desarrolladas por distintas empresas que permiten integrar varios dispositivos de control con el objetivo de mantener una planta funcionando correctamente. Sin embargo la mayoría de estas redes tienen la desventaja que los productos y equipos necesarios para su instalación, reparación o modernización son propiedad exclusiva de los proveedores, por lo tanto se transforman en redes cerradas difíciles de intervenir.

En el ambiente industrial siempre ha existido el problema que al enfrentarse a distintas necesidades de control (control discreto, de movimiento, de procesos etcétera), cada necesidad se soluciona con una plataforma diferente de control, lo que hace muy complejo integrar todo en una sola red.

Ethernet/IP es una plataforma plana montada sobre el estándar IEEE 802.3. Esta plataforma permite que cada sistema de control sea integrado a una

misma red, eliminando así la necesidad de mezclar distintos sistemas y permitiendo además compatibilizar productos de diferentes proveedores transformándola en una red abierta.

Hasta hace poco Ethernet no estaba capacitada para realizar tareas de control ya que no contaba con dispositivos adecuados para transportar la información en los protocolos especificados, ni con la seguridad y robustez de una red industrial. Esto ha cambiado y hoy en día Ethernet se encumbra como la red de información universal que deja de lado los antiguos sistemas propietarios. Es esta red abierta la solución entonces a un problema de control de vital importancia en este caso puntual, para el desarrollo de un hospital.

Este proyecto tiene como objetivo la modernización del sistema de monitoreo y control en base a una red Ethernet, para cumplir con el control y monitoreo de temperatura en los quirófanos del Hospital Naval Almirante Nef de la ciudad de Viña del Mar.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

1.1 INTRODUCCIÓN

El acondicionamiento de aire es un proceso muy común hoy en día en todas las nuevas edificaciones, ya que éste no solamente contribuye al confort de las personas también evita la acumulación de virus y bacterias en el ambiente. Sin aire acondicionado un simple resfriado se puede contagiar de un individuo a todos los residentes de una construcción en lo que se conoce como *síndrome del edificio enfermo*. En un quirófano este resguardo ambiental cobra vital importancia. Las condiciones climáticas en ésta sala deben ser óptimas en todo momento.

Se puede definir al quirófano de forma muy básica como la sala de un hospital en donde se realizan intervenciones quirúrgicas u operaciones. Esta sala debe cumplir una serie de normas. Algunas de estas normas son universales como las de higiene, limpieza, esterilización y asepsia dentro del *área quirúrgica*.

El *área quirúrgica* es el conjunto de dependencias en donde están ubicados los quirófanos. Esta área comprende los vestuarios, pasillos, zonas de lavado y esterilización. Se puede dividir en tres partes: *Zona negra*, es la primera zona de restricción o zona de protección, que corresponde al área de acceso. *Zona gris* o también llamada zona limpia, donde todo el personal que entra a esta zona debe vestir *pijama quirúrgico* y la *zona blanca* es el área de mayor restricción en la que se encuentra la sala de operaciones propiamente tal. También llamada zona estéril.

El quirófano debe estar aislado del exterior y dotado de un sistema de aire acondicionado provisto de filtros especiales (HEPA) que retienen el 99% de las

partículas mayores de 3 micras. El cambio de estos filtros debe realizarse como mínimo cada seis meses.

El aire es un vehículo de transmisión de microorganismos. Los procedimientos utilizados para disponer de aire limpio son de gran importancia, sobre todo en áreas críticas que necesitan un ambiente bacteriológicamente limpio. El conocimiento de las características climáticas idóneas del centro sanitario es importante para evitar contaminaciones e infecciones nosocomiales.

El acondicionamiento de aire consiste básicamente, en el control de las condiciones ambientales en el interior de un espacio cerrado, referente a la temperatura, humedad, movimiento y limpieza de aire. Para mantener unas condiciones ambientales idóneas en el centro sanitario el aire de climatización debe someterse a diferentes procesos antes de ser introducido. En el tratamiento de aire, tiene una gran importancia la fase de limpieza que se realiza mediante filtros adecuados al grado de eficacia deseado. Se tiene que filtrar todo el aire exterior destinado a ventilación y con filtros absolutos o HEPA el aire destinado a las zonas estériles del hospital. Las operaciones de filtrado, además de servir para obtener aire limpio en los locales, tienen mucha importancia en el mantenimiento y conservación de todos los equipos de la instalación de climatización.

1.2 SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

Existe gran variedad en sistemas de acondicionamiento de aire, y formas en que se pueden usar para controlar el ambiente en un recinto.

Estos sistemas se pueden clasificar de dos formas. Una es por el fluido de distribución de enfriamiento o calefacción, ya sea aire o agua. Son posibles los siguientes grupos: sistemas solo de aire, sistemas solo de agua, sistemas combinados de aire y agua.

Otro modo de clasificar los sistemas es según como esté el equipo empacado, ya sea junto (sistema unitario) o por separado (sistema central). En

los sistemas unitarios la mayor parte o todo el equipo se ubica en un solo paquete, en los sistemas centrales el equipo está distribuido. Los sistemas centrales pueden ser de cualquiera de los tres tipos mencionados anteriormente.

Cualquiera sea el tipo de sistema de acondicionamiento, éste consiste básicamente de una fuente de calefacción y/o enfriamiento, un dispositivo para impartir movimiento a un fluido, el sistema de distribución del fluido y las unidades terminales. El funcionamiento detallado del sistema se describe más adelante.

Según la clasificación de los sistemas se puede mencionar que el hospital cuenta con un sistema *central de sólo aire* para el acondicionamiento de aire en los pabellones quirúrgicos. La esencia de este tipo de sistemas es que sólo distribuyen aire a los recintos. Una unidad acondiciona y después distribuye un volumen constante de aire por un ducto hacia el quirófano. La figura 1-1 muestra un esquema del sistema de acondicionamiento central de solo aire.

El *ventilador de suministro de aire* es necesario para distribuir el aire a través de la unidad, ductos y dispositivos de distribución de aire.

El *serpentín de enfriamiento*, enfría y deshumidifica el aire en verano. Recibe agua helada desde la fuente de enfriamiento.

Los ductos están dispuestos de modo que el sistema admita algo de aire exterior, y el resto es aire de retorno que recircula desde el quirófano. Esto se realiza para aprovechar la temperatura del aire y no gastar más energía de la debida en enfriarlo o calentarlo.

El *ventilador de retorno de aire* toma aire desde el pabellón y lo distribuye a través de los ductos de retorno, de regreso a la unidad de acondicionamiento de aire o al exterior.

El *serpentín de calefacción* se utiliza en estaciones frías para calentar el aire. Cuando la temperatura es menor que la de congelación, se utiliza para templar el aire y que los serpentines de agua helada no se congelen.

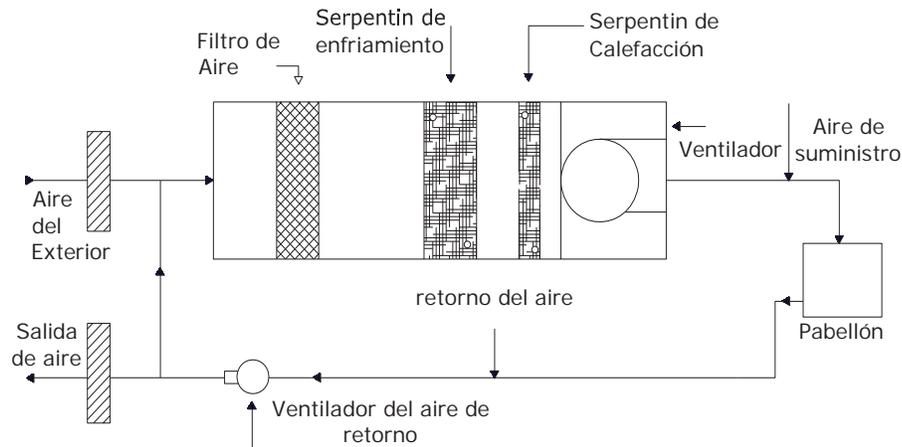


Figura 1-1. Esquema de una unidad manejadora de aire.

Los *filtros* se necesitan para limpiar el aire. Especial importancia tienen en este caso ya que el nivel de filtrado debe ser óptimo para no permitir el ingreso de bacterias al pabellón.

La unidad en la que se encuentran los elementos antes mencionados (salvo el ventilador de retorno de aire) mostrada en la figura 1-1, se llama unidad manejadora de aire (UMA). Los serpentines que contiene esta unidad poseen cada uno una fuente de calentamiento o enfriamiento según sea el caso, del líquido que en su interior se transporta. La fuente de enfriamiento se denomina habitualmente *equipo de refrigeración* y la fuente de calentamiento se denomina *caldera*. El funcionamiento de ambas es descrito a continuación.

1.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema utilizado en el hospital se denomina *sistema de refrigeración por absorción y compresión de vapor*, y es usado ampliamente para producir el enfriamiento necesario para el acondicionamiento de aire. La figura 1-2 muestra un diagrama de flujo que indica los componentes básicos del sistema de refrigeración por compresión de vapor. Para ayudar a comprenderlo se indican algunas temperaturas típicas en cada etapa del proceso.

El fluido refrigerante circula a través de la tubería y el equipo en la dirección indicada. Hay cuatro procesos (cambios en el estado del fluido) que se efectúan a medida que éste pasa a través del sistema.

Proceso 1-2. En el punto (1), el refrigerante se encuentra en estado líquido a una presión y temperatura relativamente altas. Pasa a (2) a través de una restricción, que se llama dispositivo de control de flujo o dispositivo de expansión. El refrigerante pierde presión al pasar por la restricción. La presión en (2) es tan baja que se evapora una pequeña porción de refrigerante. Pero para evaporarse debe ganar calor, que toma de la parte del refrigerante que no se evaporó, y así se enfría la mezcla, produciendo la baja temperatura en (2).

Proceso 2-3. El refrigerante pasa a través de un cambiador de calor llamado evaporador. Este cambiador tiene dos circuitos. El refrigerante circula por uno, y el otro fluido por enfriar (en este caso agua), pasa por el otro. El agua está a una temperatura ligeramente mayor que la del refrigerante, y por lo tanto se transfiere calor desde el mismo hasta el refrigerante, y se produce el efecto de enfriamiento que se desea. El refrigerante hierve debido al calor que recibe en el evaporador. Para cuando sale del evaporador (4) está vaporizado por completo.

Proceso 3-4. Al salir del evaporador, el refrigerante es un gas a baja temperatura y baja presión. Para poder volver a usarlo y obtener continuamente el efecto de evaporación, se debe regresar a las condiciones de (1): líquido a alta presión. El primer paso en este proceso es aumentar la presión del refrigerante gaseoso mediante el empleo de un compresor. Al comprimir el gas también se tiene un aumento de su temperatura.

Proceso 4-1. El refrigerante sale del compresor en estado gaseoso a alta temperatura y presión. Para cambiar al estado líquido, se debe eliminar calor. Esto se logra en un cambiador de calor que se llama condensador. El refrigerante fluye a través de uno de los circuitos del condensador. En el otro pasa un fluido de enfriamiento, en este caso aire, a menor temperatura que el refrigerante.

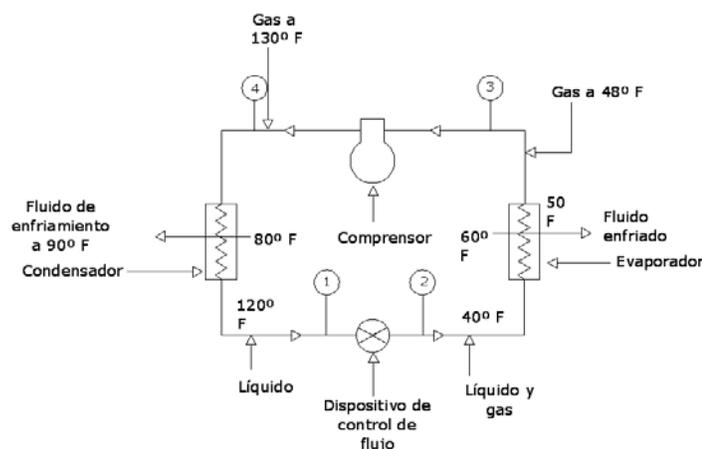


Figura 1-2. Sistema de refrigeración por compresión de vapor.

Por lo tanto el calor se transfiere del refrigerante al fluido de enfriamiento y, como resultado de ello el refrigerante se condensa y pasa a forma líquida (1). El refrigerante ha vuelto a su estado inicial y está listo para repetir el ciclo.

1.4 CALDERA DE CALEFACCIÓN

La caldera produce agua caliente o vapor, que pasa mediante tuberías al equipo de calefacción del recinto. Las partes principales de la caldera son: la cámara de combustión u hogar, el quemador, el cambiador de calor, los controles y la envolvente. La figura 1-3 muestra un esquema con los componentes de una caldera, los cuales son detallados a continuación.

Contravapor de bajo nivel de agua que detecta el nivel de agua dentro de la caldera y detiene el funcionamiento del quemador si dicho nivel queda por debajo de determinado límite de seguridad.

Indicador del nivel de agua que cuando se monta al lado de la caldera permite que el operador visualice el nivel de agua en la caldera.

Tubo de inmersión, es un tramo de salida del tubo de la caldera que se prolonga bajo el nivel del agua, evita que permanezca aire aprisionado en la parte superior de la caldera y pase al tubo de suministro de agua.

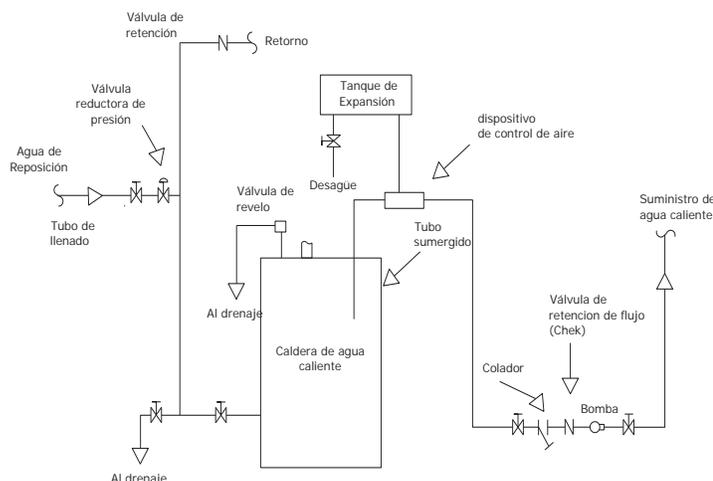


Figura 1-3. Disposición de tubería y accesorios en una caldera de agua caliente.

El tanque de expansión proporciona espacio para el aumento del volumen del agua cuando se calienta.

La válvula de retención de flujo cierra cuando la bomba se detiene. Si no existiera esta válvula, el agua caliente circularía por convección natural calentando los pabellones aunque no hubiera necesidad de ello.

La *conexión de agua de repuesto* permite el llenado del sistema y la reposición de las pérdidas de agua.

La *válvula reductora de presión* evita que se ejerza demasiada presión sobre la caldera debido a la fuente de suministro de agua.

Los *dispositivos de control de aire* desvían el aire del sistema y lo conducen al tanque de expansión.

La *válvula de relevo de seguridad* se abre si la presión de la caldera es excesiva. Alrededor de la caldera debe aplicarse un aislamiento térmico para reducir las pérdidas de calor. Esta caldera calienta y hace circular el agua a través de las tuberías que pasan por el serpentín ubicado en la unidad manejadora de aire. Las figuras 1-4 y 1-5 muestran los equipos instalados actualmente en el Hospital Naval Almirante Nef: Unidad de calentamiento (caldera) y enfriamiento (sistema de refrigeración) de agua respectivamente.



Figura 1-4. Caldera de agua caliente.



Figura 1-5. Sistema de refrigeración.

CAPÍTULO 2

INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

2.1 VARIABLES PRESENTES EN EL CONTROL DE TEMPERATURA

Como se explica en el capítulo anterior, el proceso de acondicionamiento de aire consta básicamente de una fuente de calor que alimenta un serpentín por el cual circula agua caliente y una fuente de enfriamiento que alimenta un serpentín de agua fría. El flujo de agua caliente y fría por estos serpentines, es controlado por dos válvulas (una para el agua caliente y otra para la fría) lo que permite el enfriamiento o calentamiento del aire a través de la unidad manejadora (UMA) según se requiera.

Las válvulas son los actuadores dentro del proceso de control de temperatura. Teniendo control sobre el flujo de agua a través de las válvulas, es posible controlar la temperatura al interior de cada pabellón.

Las variables presentes en el proceso de acondicionamiento de aire son:

- Variable medida: Temperatura del aire en el pabellón.
- Variable manipulada: Caudal de agua caliente en la unidad manejadora.

Caudal de agua fría en la unidad manejadora.

2.2 EQUIPAMIENTO

El hospital cuenta actualmente con un sector de pabellones con un número aproximado de 20 salas dedicadas a operaciones quirúrgicas, sala de partos y cirugías menores entre otras.

En los sectores más críticos, por ejemplo los pabellones cardiovasculares y la UCI (unidad de cuidados intensivos), las unidades manejadoras de aire son controladas por un controlador de temperatura dedicado de la empresa Johnson Controls, específicamente el Metasys DX-9100, el cual es un controlador tipo

PLC que actúa en las válvulas de los serpentines dependiendo de la señal medida en el quirófano.

Actualmente estos controladores no tienen mayores inconvenientes en su funcionamiento, pero tienen una desventaja con respecto al sistema de control de este proyecto, y es que no se pueden monitorear las variables que estos miden desde la central de monitoreo del hospital.

Para el monitoreo y control de procesos en el hospital, existe una red de controladores lógicos programables (PLC) conectada a una central de monitoreo en la cual se observa el estado de las variables medidas por estos. Cada PLC con sus respectivos módulos de entradas y salidas recibe el nombre de *unidad recolectora de datos* (URD) y existen un total de diez repartidos en diferentes sectores. Se profundizan los aspectos más importantes de estas unidades en los capítulos posteriores.

En el presente proyecto los controladores Johnson Controls no necesitan ser modificados, razón por la cual la atención se centra en el sector de pabellones que no cuenta con automatización y cuyas manejadoras de aire se controlan de forma manual. En el apéndice A se encuentra el listado de manejadoras de aire ubicadas en el piso mecánico (piso del hospital en el cual están la mayoría de las UMA), indicando que sector del área de pabellones acondiciona, y un plano con la ubicación de estas en él. Estos documentos son la referencia para señalar la manejadora exacta a la que se refiere este proyecto y estipular la distancia desde la UMA hasta la URD más cercana (URD N°8). La figura 2-1 muestra la ubicación física del piso mecánico con respecto a las URD.

El piso mecánico, como se le llama al sector donde se encuentran las unidades manejadoras de aire, está ubicado en el tercer piso del hospital. La puerta principal de este sector (ver plano de referencia en el apéndice A) se encuentra a siete metros de la URD N°8.



Figura 2-1. Ubicación de las URD y las manejadoras de aire.

En la figura 2-1 se puede apreciar la cercanía de las manejadoras con dicha URD. En los pisos que señala la figura 2-1 se encuentran las URD, todas ubicadas al mismo nivel ordenadas verticalmente. El orden de numeración y ubicación es el que muestra la tabla 2-1.

Tabla 2-1. Orden de las URD en los pisos del edificio Torre del hospital.

Piso 7	URD N°10
Piso 6	Nada
Piso 5	URD N°9
Piso 4	Nada
Piso 3	URD N°8
Piso 2	URD N°7
Piso 1	Nada
Subterráneo	URD N°6

Según la tabla la URD 6 está en el piso 0 (subterráneo, un nivel bajo el piso 1 también llamado piso de servicio), URD 7 en piso 2, URD 8 en piso 3, URD 9 en piso 5 y URD 10 en piso 7.

La distancia entre dos URDS no sobrepasa los 12 metros. Las URD que se encuentran en pisos contiguos están a 6 metros de distancia, mientras que

las separadas por un piso están a 12 metros entre si, lo cual hace que la distancia de separación máxima entre la URD 6 y la 10 no sea superior a los 42 metros.

Como se muestra en el listado de manejadoras del apéndice A, la manejadora G21-27 (nomenclatura utilizada en el hospital para diferenciar cada unidad manejadora de aire) acondiciona el aire del pabellón número 4 donde se realizan operaciones del tipo maxilofacial. Este es el pabellón en cuestión ya que no se encuentra automatizado.

Los pabellones se ubican en el segundo piso, inmediatamente debajo del piso mecánico y las UMA. La manejadora G21-27 está a una distancia de 65 metros de la puerta principal del piso mecánico, como se muestra en el plano (ver apéndice A), por lo tanto queda a una distancia aproximada no superior a los 80 metros de la URD N°8. La figura 2-2 muestra el pabellón número 4 de cirugía maxilofacial.

Este pabellón se encuentra verticalmente por debajo de la UMA G21-27. Los instrumentos que señala la figura 2-2, son un termómetro y un termostato que actualmente están fuera de servicio. El termostato, hace ya algunos años, regulaba el flujo de agua a través de las válvulas de la UMA.

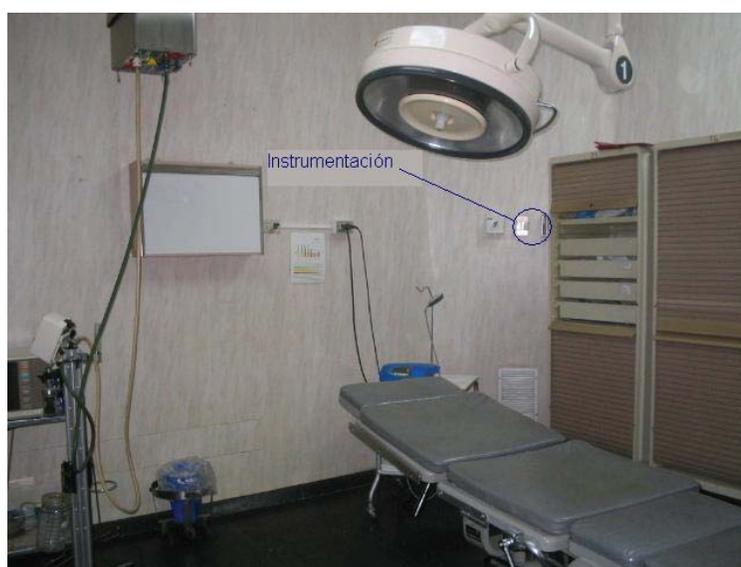


Figura 2-2. Pabellón de cirugía maxilofacial.



Figura 2-3. Unidad manejadora de aire G 21-27.

La ubicación actual de los instrumentos en pabellón es útil para este proyecto ya que permite la comunicación de estos con la UMA a través de los canales (tubos) dispuestos para el cableado entre las válvulas reguladoras del flujo, los sensores y el PLC. Estos canales se encuentran tras la pared en la que se montan los instrumentos y suben hasta llegar al piso mecánico donde está la UMA. La distancia aproximada entre los sensores y las válvulas de control de flujo, tomando en cuenta el máximo recorrido posible es de 40 metros.

2.3 INSTRUMENTACIÓN

La manejadora G21-27 cuenta actualmente con dos válvulas manuales para el paso de agua hacia los serpentines (la figura 2-3 muestra 2 válvulas on/off que actualmente están fuera de servicio). Esto es claramente insuficiente para mantener las condiciones de temperatura adecuadas en el pabellón. Para solucionar esta situación se necesita de los siguientes instrumentos:

- 2 válvulas eléctricas proporcionales VA-7152-1001.
- 1 transductor de temperatura RS-1140.

2.3.1 Válvulas proporcionales

Las válvulas proporcionales utilizadas para este proyecto son de Johnson Controls, modelo VA-7152-1001. Estas válvulas utilizan un motor sincrónico reversible y un embrague magnético que ubica exactamente la posición de las mismas. Esta combinación (motor y embriague) genera una fuerza de 90 libras en cualquier dirección y mantiene la fuerza de cierre incluso si la energía a la válvula se quita. Cuando el controlador proporciona una señal para que la válvula se mueva en sentido inverso, se reduce la fuerza de cierre y la válvula modula. El embrague magnético mantiene una carga constante al final del recorrido, lo que asegura el cierre apretado de la válvula.

La señal de control enviada a estas válvulas, es una señal análoga de 0 a 10 VDC. Esta señal es comparada con la posición actual de la válvula mediante un potenciómetro de realimentación interno.

La señal de control es enviada desde la URD por el módulo 1746-NO4V del SLC 500 ya que éste tiene la capacidad de enviar señales de 0 a 10 VDC según la medición en el módulo de entrada 1746-NI4 conectado al transductor de temperatura, proceso que será descrito más adelante. El circuito interno de la válvula activa el motor para girar en la dirección apropiada. El tren de engranaje y el tornillo de impulsión mueven el vástago de válvula a la posición pedida por la señal de entrada. La figura 2-4 muestra las curvas de apertura de la válvula de acuerdo al voltaje de entrada y su estructura interna. Cabe señalar que se puede modificar el funcionamiento de esta, seleccionando modo directo (DA) o modo inverso (RA).

2.3.2 Cableado de la válvula

La válvula cuenta con un cableado simple en el que se diferencian claramente los terminales de alimentación, tierra y entrada de la señal de control. El cable de la fuente de voltaje se conecta con terminales (1) AC, y (2) común, tal como muestra la figura 2-5. El cable de control se conecta en los terminales de entrada y tierra ((4) entrada y (3) común). Con la señal de control baja (voltaje

cercano a cero) a través de los terminales 3 y 4, el tornillo de impulsión es contraído completamente en el modo de acción directa (DA) quedando la válvula cerrada, y es completamente extendido en modo de acción reversa (RA) quedando abierta.

La señal de alimentación de las válvulas proviene de un tablero eléctrico alimentador ubicado junto a la UMA, con una distancia de cableado de 5 metros. La señal de control proviene desde la URD número 8, en cuyo chasis se ubica el módulo de salida análogo que entrega a esta la señal de 0 a 10 volt. El trazado del cableado entre la URD y las válvulas está previamente definido por ductos que actualmente están instalados en el piso mecánico y que unen estas con la URD número 8. La distancia entre las válvulas y la URD es de 80 metros.

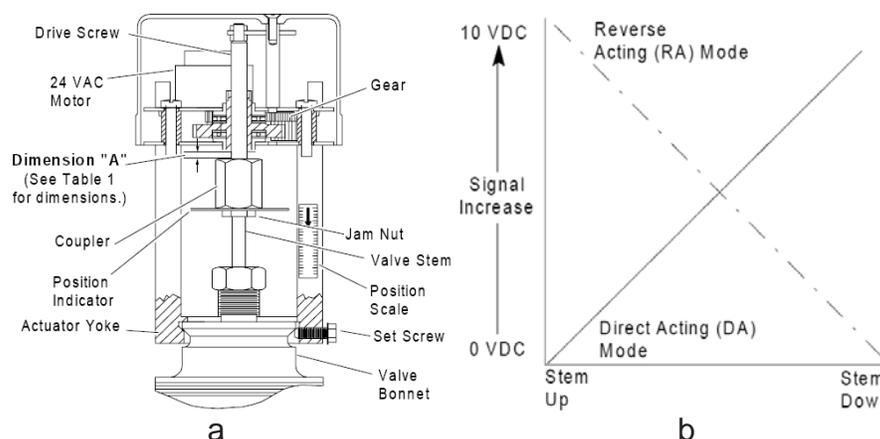


Figura 2-4.a) Disposición interna de la válvula. b) Acción directa e inversa.

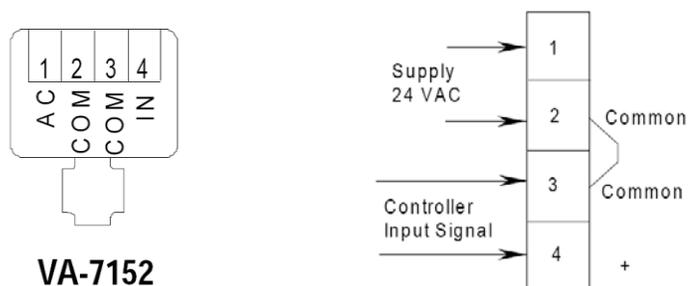


Figura 2-5. Disposición del cableado en la válvula proporcional VA-7152.

2.3.3 Transductor de temperatura

El transductor de temperatura utilizado en este proyecto es el RS-1140 de Johnson Controls. La serie RS-1100 de sensores y de transductores electrónicos de la temperatura ambiente de Johnson Controls, proporcionan una señal pasiva o activa que corresponde a la temperatura ambiente en la sala a acondicionar. El RS - 1140 proporciona una señal de 0 a 10V directamente proporcional a la temperatura detectada.

Este sensor se instala en la pared del pabellón número 4 tal como muestra la figura 2-2 (instrumentación). Los sensores RS-1100 son de fácil montaje en la pared, usando dos de los cuatro agujeros de tornillo en la base (véase figura 2-6b). El cableado se incorpora en la parte posterior.

2.3.4 Cableado del transductor

La comunicación entre el transductor y el módulo de entrada 1747-NI4, es similar a la establecida entre el módulo de salida y la válvula proporcional. La alimentación del transductor se conecta entre el conector 11 y el 14. Esta es una fuente de 15 VDC que proviene del tablero de alimentación ubicado en el piso mecánico. Según la temperatura en el ambiente el transductor enviará una señal de 0 a 10 VDC a través del conector 12.

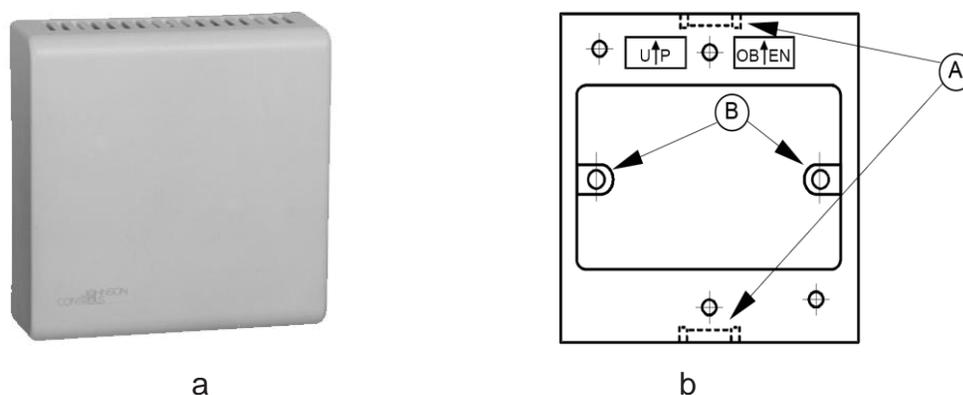


Figura 2-6. a) Transductor de temperatura. b) Parte posterior del transductor.

La figura 2-7 muestra un esquema con los conectores del transductor RS1140.

La figura 2-8 muestra la característica principal del transductor de temperatura que entrega un voltaje proporcional a la temperatura medida de forma lineal. Si la entrada es de 0°C la salida será de 0 volts, hasta un máximo de 40°C con los que la salida del transductor es de 10 volts. El grado de exactitud, el consumo de corriente, las dimensiones entre otras cosas, se observan en la hoja de especificaciones del mismo.

Las especificaciones tanto de la válvula proporcional VA-7152 como del transductor RS-1140, se encuentran en el apéndice A.

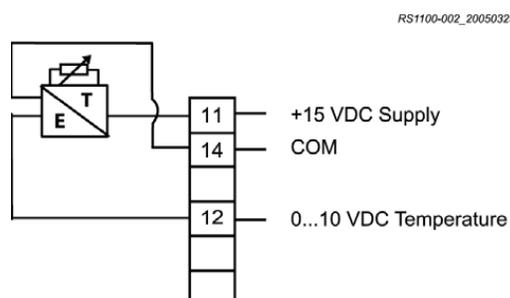


Figura 2-7. Esquema de conexión del transductor RS-1140.

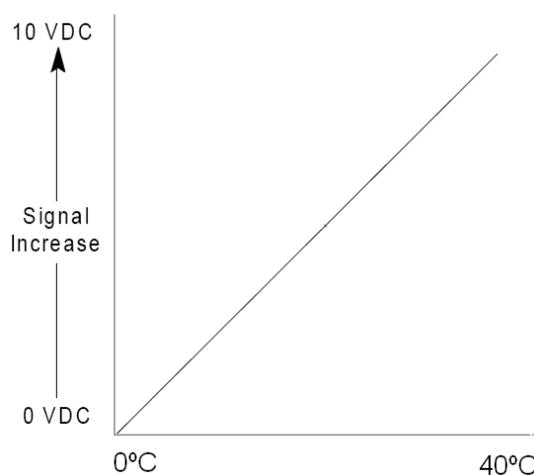


Figura 2-8. Curva característica del transductor RS-1140.

CAPÍTULO 3

INTEGRACIÓN DEL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE A LA RED ETHERNET

3.1 INTRODUCCIÓN

El acondicionamiento de aire explicado en los capítulos anteriores, es uno de muchos procesos monitoreados desde la central de control y monitoreo (CCM) del Hospital Naval Almirante Nef. La CCM es una sala dispuesta especialmente para observar a través de monitores, el estado de las variables de interés en distintos procesos a lo largo de todo el hospital. Estas variables son medidas por un conjunto de controladores lógicos programables los que envían la información a la CCM. Algunos de los procesos que se monitorean en la sala de control son: el sistema de alarmas de incendio y los sensores de humo, sistema de gases clínicos, estado de los refrigeradores de vacunas, estado de las UPS, ascensores de carga y personal, y correo neumático. Estos datos son recogidos de terreno y desplegados en interfaces gráficas (HMI) para que un operador, al conocer el valor o estado de las variables, pueda tomar acciones necesarias para el correcto funcionamiento de los equipos.

En este capítulo se hace referencia al sistema de control y monitoreo actual del hospital, el cual consta de una red de controladores programables (PLC) de la serie SLC 500 de Allen Bradley llamada red RIO (remote input/output). Las características de esta red y del sistema actual con ella en funcionamiento son parte de este capítulo.

Conociendo la red implementada hoy en día, se aprecian falencias que para el proyecto urgen optimizarse. Con el desarrollo de la red Ethernet se minimizan éstas falencias. En el presente capítulo se dan a conocer los aspectos más relevantes de las redes desarrolladas por Rockwell con énfasis en la red Ethernet, desarrollando sus características y la integración del proceso de acondicionamiento de aire a ella.

3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE UNA RED RIO

El Hospital Naval Almirante Nef cuenta actualmente con una red de controladores programables de la serie SLC 500 de Allen-Bradley denominada red RIO (red de entradas y salidas remotas). En ésta red se interconectan diversos dispositivos de control y adquisición de datos, con los que se monitorean diferentes equipos y procesos distribuidos en todos los sectores del hospital. Estos datos son visualizados en monitores que despliegan diferentes interfaces para cada proceso.

Los procesos monitoreados pueden ser controlados desde la CCM pero de forma limitada. Las únicas opciones de control efectuadas en ellos son acciones de encendido y apagado de motores o válvulas.

Los equipos (motores, sensores etc.) están conectados a los controladores programables SLC 500. Los SLC 500 de Allen-Bradley son una familia de controladores programables de chasis pequeños y modulares en el que se integran módulos de entradas y salidas discretas, analógicas y dispositivos periféricos. En general los controladores programables SLC 500 satisfacen las necesidades de distintas aplicaciones como el manejo de materiales, el control de calefacción, ventilación y aire acondicionado, las operaciones de ensamblaje de alta velocidad, el control de procesos pequeños, el control de movimiento simple y aplicaciones SCADA.

Como mínimo, un sistema de hardware de control modular SLC 500 consta de un módulo procesador y módulos de E/S en un solo chasis modelo 1746 con una fuente de alimentación eléctrica. El chasis de E/S 1746 está diseñado para montarse en un panel posterior y está disponible en tamaños de 4, 7, 10 ó 13 ranuras de módulos. Los módulos de E/S 1746 están disponibles en cantidades de hasta 32 canales por módulo como máximo.

Los procesadores SLC 500 son módulos de una sola ranura que se colocan en la primera ranura del chasis de E/S 1746, al lado de la fuente de alimentación.

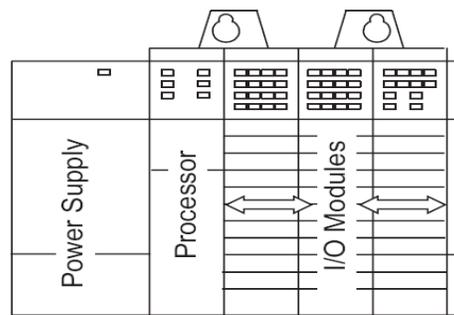


Figura 3-1. Chasis modular 1746 del SLC 500.

Para procesos ubicados en un lugar remoto con respecto al procesador se utiliza un adaptador de E/S, el cual es un módulo de una sola ranura que se coloca junto al procesador. Los sistemas modulares SLC 500 proporcionan una fuente de alimentación eléctrica separada que se monta directamente en el extremo izquierdo del chasis 1746. Lo mencionado es ilustrado en la figura 3-1.

Los procesadores SLC 500 cuentan con varios tamaños de memoria (de 1 K a 64 K bytes) y controlan hasta 4096 señales de entrada y 4096 de salida. Existen 5 modelos de procesadores, desde el más básico SLC 5/01, hasta el más avanzado SLC 5/05. Todos los procesadores modulares, excepto el SLC 5/01, controlan E/S en lugares remotos, pero al añadir un módulo escáner de E/S, el procesador SLC 5/01 puede controlar o monitorear estas E/S ubicadas en sitios remotos a través de redes como Controlnet, Devicenet y redes universales de E/S remotas como es el caso del hospital.

Es posible configurar un sistema RIO con uno, dos o tres chasis locales, para alcanzar un total máximo de 30 E/S o módulos de comunicación locales, también se pueden conectar varios chasis locales entre sí con cables de interconexión de chasis a fin de extender las líneas de señal de backplane de un chasis a otro.

Los distintos modelos de procesadores SLC tienen distintos puertos incorporados para propósitos de comunicación con otros procesadores o computadoras. Asimismo, hay módulos disponibles por separado que proporcionan puertos de comunicación adicionales para entablar comunicación

con otros procesadores, computadoras y E/S ubicados en lugares remotos. Cada procesador tiene uno o dos puertos incorporados para comunicaciones Ethernet/IP, DH+, DH-485 ó RS-232 (protocolos DF1, ASCII o DH-485). Además de los puertos incorporados que están disponibles con los procesadores SLC, existe la opción de proporcionar otro puerto de comunicación para un procesador SLC mediante la adición de un módulo de comunicación. Existen módulos adaptadores de E/S 1746 disponibles para Controlnet y redes universales de E/S remotas, como los módulos de comunicación directa 1747-DCM en el caso del hospital. Un módulo adaptador en un chasis con módulos de E/S, realiza una interconexión entre los módulos de E/S con el fin de entablar comunicación con un puerto de escáner para un procesador en otro lugar. Esto ocurre con los módulos de comunicación directa 1747-DCM y los módulos escáner 1747-SN en la red RIO del hospital, proceso que será detallado más adelante.

La figura 3-2 muestra el esquema de una red RIO típica. Básicamente una red RIO es una interconexión de dispositivos de campo los cuales envían información constantemente a un PLC, el cual puede controlar un proceso o solamente transmitir información, y éste a su vez se comunica con una red de mayor envergadura (como muestra el esquema) o simplemente transmite los datos para que sean leídos por un operador. Un procesador SLC se comunica a través del backplane con los módulos de E/S 1746 en el mismo chasis en el que reside el procesador.

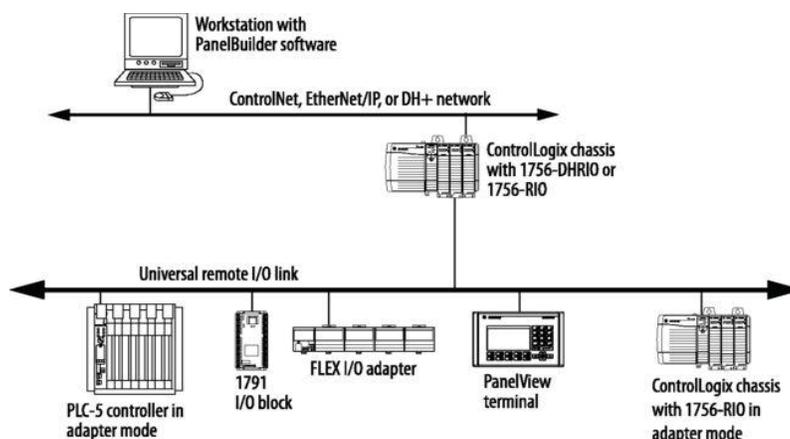


Figura 3-2. Esquema de una red RIO típica.

La red de comunicaciones RIO permite que los dispositivos en la planta compartan información. A través de la red, los programas de aplicación pueden:

- Monitorear los parámetros y el estado de procesos y dispositivos, incluso la detección de fallos y alarmas.
- Realizar adquisición de datos.
- Realizar funciones de control y supervisión.

Para comprender mejor el funcionamiento y las características de la red RIO, es necesario conocer las distintas redes que Rockwell Automation ha desarrollado a lo largo del tiempo. Rockwell Automation ofrece muchos productos de control y medios físicos de comunicaciones para integrar operaciones de planta. Los controladores SLC 500 proporcionan dispositivos y módulos de comunicaciones que dan compatibilidad con las distintas redes que Rockwell posee, como Ethernet/IP, Controlnet, Devicenet, DH+, DH-485, E/S remotas universales y redes en serie.

3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS DISTINTAS REDES

Con el objetivo de que todas las redes mencionadas anteriormente puedan integrarse de la forma más fácil posible, Rockwell Automation generó una arquitectura de red abierta para sus productos llamada *Net Linx*. Las conexiones de red en la arquitectura Net Linx, ya sea en redes Devicenet, Controlnet o Ethernet/IP, hablan un lenguaje común y comparten un conjunto universal de servicios de comunicación. La arquitectura Net Linx integra todos los componentes de un sistema de automatización desde unos cuantos dispositivos en una red hasta varios dispositivos en varias redes, incluyendo el acceso a la Internet. Esto flexibiliza y reduce los costos de instalación de las redes. Gracias a esta arquitectura las redes mencionadas a continuación poseen dispositivos que hacen posible la integración entre ellas. Sin embargo la única red abierta totalmente para los distintos dispositivos, llámese

controladores, PLC, u otros, es la red Ethernet/IP ya que permite integrar dispositivos de distintos fabricantes.

3.3.1 Ethernet/IP

La red Ethernet/IP es una red de área local diseñada para el intercambio de información a alta velocidad entre computadoras y otros dispositivos. Ethernet permite que muchas computadoras, controladores y otros dispositivos se comuniquen a grandes distancias gracias a su gran ancho de banda de entre 10 Mbps y 100 Mbps. En la capa de información, una red Ethernet permite a los sistemas de toda la empresa acceder a datos de la planta. La red Ethernet ofrece mayores posibilidades de expansión que el resto de las redes, ya que permite maximizar la comunicación entre los diversos equipos que ofrecen los distintos distribuidores (no solamente Rockwell Automation). El protocolo utilizado por esta red es TCP/IP.

El procesador SLC 5/05 ofrece conectividad a Ethernet para la familia de controladores SLC 500. Para modelos anteriores al SLC 5/05 existe un módulo de interfaz que permite la integración de estos a redes Ethernet. Éste es el módulo 1761-NET-ENI el cual proporciona conectividad para mensajes EtherNet/IP a todos los dispositivos full-duplex DF1. A través del 1761-NET-ENI (dispositivo de interfaz) los controladores SLC 5/03 y SLC 5/04 se conectan a redes Ethernet existentes, permitiendo cargar y descargar programas, comunicarse entre controladores y generar mensajes de correo electrónico por medio del SMTP (protocolo simple de transporte de correo). Otros dispositivos compatibles con el 1761-NET-ENI son los controladores MicroLogix 1000/1200/1500, PLC-5, Control Logix, Compact Logix y Flex Logix (todos de Rockwell Automation), y las computadoras que ejecuten RS Linx (software para la comunicación de redes). El módulo 1761-NET-ENIW añade a la red capacidades para servidor de web, habilitando la visualización de 4 páginas web estándares de datos con descripciones de datos configurables y 10 vínculos de páginas web configurables en la página de inicio del mismo.

3.3.2 Controlnet

La red Controlnet es una red determinista y abierta de alta velocidad que se usa para transmitir información urgente. Proporciona servicios de mensajes y control en tiempo real. Como vínculo de alta velocidad entre controladores y dispositivos de E/S, una red Controlnet combina las capacidades de las redes de E/S remotas universales (RIO) y DH+. Una red Controlnet permite conectar una variedad de dispositivos, incluyendo computadoras personales, controladores, dispositivos de interfaz operador-máquina (HMI), variadores de frecuencia, módulos de E/S y otros dispositivos con conexiones Controlnet.

Una red Controlnet combina la funcionalidad de una red de E/S y una red de mensajes entre dispositivos. Esta red abierta ofrece el rendimiento que se requiere para los datos de control crítico, como son las actualizaciones de E/S y el enclavamiento de controlador a controlador. Controlnet también acepta la transferencia de datos no críticos, como cargas y descargas de programas y envío de mensajes.

3.3.3 Devicenet

La red Devicenet es un vínculo de comunicación abierta de bajo nivel que ofrece conexiones entre dispositivos industriales simples como sensores y actuadores, y dispositivos de alto nivel como controladores. Basándose en la tecnología estándar de red de área de controlador (CAN), esta red abierta ofrece interoperabilidad entre dispositivos similares provenientes de varios proveedores. Una red Devicenet reduce los costos de instalación, el tiempo de arranque o puesta en marcha y el tiempo improductivo del sistema o la máquina.

Como otra característica de Devicenet se puede mencionar que es una red muy común, lo que hace que los costos de mantenimiento sean menores al permitir sustituir los dispositivos sin causar interrupciones en otros.

3.3.4 Red Data Highway Plus (DH+)

La red Data Highway Plus es una red de área local diseñada para aceptar

programación remota y adquisición de datos para aplicaciones de plata. La red DH+ acepta configuraciones tipo margarita o de línea derivada de línea troncal. El número de dispositivos aceptados en un vínculo DH+ y la longitud máxima del cable están en función de la velocidad de comunicación. Una red DH+ permite transferir datos a controladores PLC-5, SLC 500 u otros equipos de alto nivel y configurar enlaces para programar estos controladores. Un controlador programable SLC 500 se puede comunicar a través de una red DH+ con otros controladores y con una estación de trabajo como la CCM.

El procesador SLC 5/04 proporciona conectividad a Data Highway Plus para el SLC 500.

3.3.5 Red DH-485

La red DH-485 ofrece una conexión de hasta 32 nodos, control de acceso de paso de testigo (token) y la capacidad de añadir o retirar nodos sin interrumpir el funcionamiento de la red. DH-485 acepta dispositivos esclavos y tiene capacidad para varios maestros.

La familia SLC 500 incluye los siguientes dispositivos DH-485: módulo de interfaz DH-485/RS-232C 1747-KE, convertidor de interfaz avanzado 1761-NET-AIC, acoplador de vínculo aislado 1747-AIC, convertidor de USB a DH-485 1747-UIC. Especial atención merece en este caso el módulo 1747-KE ya que en la red RIO del Hospital Naval Almirante Nef, está acoplado un PLC Samsung SPC-10ADR, el cual controla y monitorea el nivel de un pozo en el que se expulsan los desechos de la sala de radioterapia. Éste PLC cuenta con un puerto de comunicación 485 por lo que se utiliza el convertidor DH-485/RS-232 para integrar éste al PC de la CCM (ver esquema de red RIO en apéndice B).

El 1747-KE es una interfaz de comunicación que actúa como un puente entre las redes DH-485 y los dispositivos RS-232C usando el protocolo DF1. Permite tener acceso al SLC 500 por medio de un vínculo RS-232C. Aunque no es este el caso, ya que el conversor está conectado a un PLC diferente de un SLC 500, cabe mencionar que cuando se usa en el chasis de un SLC 500 con un

módem el 1747-KE habilita la programación remota y la resolución de problemas de cualquier procesador SLC 500, la comunicación remota con una red DH-485 de procesadores SLC 500 y la recolección de datos remota a partir de la tabla de datos de cualquier procesador SLC 500.

3.3.6 Entradas/Salidas remotas universales (RIO)

La red de entradas y salidas universales RIO, es la red implementada actualmente en el Hospital Naval Almirante Nef, por lo tanto merece especial atención. Las características de esta red y los equipos que soporta se detallan a continuación.

La red de E/S remotas universales acepta una amplia gama de productos. Además de módulos E/S 1746, la red RIO acepta muchos dispositivos de Allen-Bradley y otros fabricantes. Las aplicaciones típicas incluyen desde simples vínculos de E/S con controladores, hasta vínculos con una amplia variedad de dispositivos diferentes. Los dispositivos se conectan mediante módulos adaptadores o incorporados de E/S remotas. Una gran ventaja de ésta es que al usar la red de E/S remotas universales en lugar de cablear directamente un dispositivo cubriendo una gran distancia hasta un chasis de E/S local, los costos de instalación, arranque y mantenimiento se reducen, pues las E/S están más cerca de los sensores y actuadores. Algunos dispositivos RIO ofrecen la función de paso "Pass-Through", que permite configurar dispositivos remotamente desde una red Ethernet, DH+ o DH-485/DF1. Los últimos sistemas operativos del SLC 500 (1747-OS310, 1747-OS410 y 1747-OS510) aceptan instrucciones de transferencia en bloques para una lectura y escritura más rápida de los datos de E/S.

Las siguientes interfaces proporcionan conectividad de E/S remotas universales para el SLC 500: escáner de E/S remotas 1747-SN, escáner de E/S remotas de respaldo 1747-BSN, adaptador de E/S remotas 1747-ASB, módulo de comunicación directa 1747-DCM.

Cada URD del sistema implementado en el hospital cuenta con un módulo de comunicación directa 1747-DCM para la integración de la red RIO, y la URD central (número 5) cuenta con dos módulos escáner 1747-SN. Por ésta razón estos módulos son detallados a continuación.

El módulo 1747-SN es un dispositivo conectado a los SLC 500 que proporciona una comunicación remota de alta velocidad entre un procesador SLC y una interfaz de operación Allen-Bradley u otro dispositivo de control, en éste caso otros SLC 500. El escáner proporciona conectividad al procesador SLC 5/02 ó superior con dispositivos como pantallas de mensajes o pantallas táctiles, bloques de E/S 1791, variadores de frecuencia, dispositivos de E/S 1746, E/S 1771, y E/S Flex, la mayoría de los dispositivos mencionados corresponden a la línea de productos de Rockwell o Allen Bradley lo que sin duda es una desventaja ya que sólo se expande la red con dispositivos propietarios.

Las principales características del 1747-SN son:

- La velocidad en baudios es seleccionable lo que proporciona inmunidad al ruido dependiendo de la distancia del cable (a menor distancia es posible seleccionar mayor velocidad).
- Distribución de dispositivos por un área física amplia aceptando longitudes de cable RIO de hasta 3050 metros.
- Conexión de hasta 16 dispositivos en modo normal ó 32 dispositivos en modo complementario.
- Capacidad para enviar grandes cantidades de datos a dispositivos RIO sin afectar el rendimiento efectivo del sistema.

Por otra parte el módulo de comunicación directa 1747-DCM vincula controladores SLC 500 a un PLC central, en el caso del hospital con otro SLC pero de un modelo superior (SLC 5/03), para un procesamiento distribuido. El DCM actúa como adaptador de E/S remotas en un vínculo remoto de E/S. La información se transfiere entre un PLC local o un escáner SLC (el 1747-SN en el hospital), y un módulo 1747-DCM remoto durante cada escaneo de E/S remotas.

El número de DCM que puede supervisar un escáner depende del número de chasis que acepta el escáner y del tamaño del chasis donde se ubique el DCM. La red RIO del hospital cuenta con dos escáner en el PLC central, cada uno escaneando cuatro y cinco chasis de 13 slots respectivamente, con su DCM correspondiente.

3.3.7 Red en serie

Los procesadores SLC 5/03, SLC 5/04 y SLC 5/05 tienen un puerto en serie configurable para entablar comunicación en serie compatible con RS-232. El puerto serie conecta dispositivos que:

- Se comunican usando del protocolo DF1, como los módems, los módulos de comunicación, las estaciones de trabajo de programación y otros dispositivos homólogos.
- Envían y reciben caracteres ASCII, como los terminales ASCII, lectores de códigos de barras y las impresoras.
- También se comunican usando el protocolo DH-485.

Cuando se configura para el modo de sistema, el puerto en serie acepta el protocolo DF1. Se utiliza el modo de sistema para comunicarse con otros dispositivos en el vínculo en serie. Los siguientes modos DF1 son seleccionables en una red serie.

- Full-duplex DF1: ofrece comunicación entre un controlador SLC 500 y otros dispositivos compatibles con DF1. En el modo punto a punto, el controlador SLC 500 utiliza el protocolo de full-duplex DF1.
- Maestro half-duplex DF1: encuesta y transmite mensajes entre el maestro y cada nodo remoto. En el modo maestro, el controlador SLC 500 utiliza el protocolo de encuesta half-duplex DF1.
- Esclavo half-duplex DF1: utiliza el controlador como una estación esclava en una red maestro/esclavo en serie. En el modo esclavo, el controlador SLC 500 utiliza el protocolo half-duplex DF1.

- Módem de radio DF1: Es un híbrido entre el full-duplex DF1 y el half-duplex DF1, este protocolo está optimizado para su uso con las redes de módem de radio.

En el modo de sistema, el puerto en serie también acepta las aplicaciones de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA). Los sistemas SCADA permiten monitorear y controlar las funciones y procesos remotos a través de los vínculos de comunicación en serie entre los lugares maestro y esclavo.

Cuando se configura para el modo de usuario, el puerto en serie acepta los dispositivos ASCII. Las instrucciones ASCII del SLC 500 se utilizan para enviar y recibir información de estos dispositivos.

En resumen las redes desarrolladas cumplen distintos propósitos y necesitan diferentes equipos para su funcionamiento, sin embargo es posible integrar tecnologías antiguas a los nuevos caminos que toman las redes industriales gracias a que Rockwell Automation ha procurado desarrollar cada nuevo producto pensando en los ya existentes en lo que se conoce como arquitectura de red abierta Net Linx. La tabla 3-1 compara las redes mencionadas, las divide según las aplicaciones que se deseen en cada caso y lista los equipos necesarios para habilitar dicha red.

3.4 TOPOLOGÍA DE RED ACTUAL

El análisis topológico de la red se hace desde dos puntos de vista, el físico y el lógico. En primera instancia se expone la red física y gracias a esta configuración es posible comprender con mayor facilidad la estructura lógica de la misma.

Considerando la envergadura del Hospital, éste ha sido dividido en varios sectores, y en cada sector se ubican Unidades Remotas de Recolección de Datos (URD) las cuales envían la información adquirida desde los sensores en terreno hacia la central de control y monitoreo (CCM). La distribución de las URD en los diferentes sectores del hospital es la siguiente:

Tabla 3-1. División de las redes según sus aplicaciones.

La aplicación requiere de:	Red	Módulo/dispositivo De comunicación
<ul style="list-style-type: none"> - Transferencia de datos de alta velocidad entre los sistemas de información y/o una gran cantidad de controladores - Conexión de Internet/Intranet - Mantenimiento de programa 	EtherNet/IP	<ul style="list-style-type: none"> - Procesador SLC 5/05, o bien, - Interfaz EtherNet 1761-NET-ENI - Interfaz EtherNet habilitada para web 1761-NET-ENIW
<ul style="list-style-type: none"> - Transferencia de alta velocidad de datos urgentes entre los controladores y los dispositivos de E/S - Entrega de datos determinista y repetible - Mantenimiento de programa - Opciones de seguridad intrínseca o redundancia de medios físicos 	ControlNet	<ul style="list-style-type: none"> - Módulo de mensajes ControlNet 1747-KFC15 - Módulo escáner ControlNet 1747-SCNR - Módulos adaptadores ControlNet 1747-ACN15 y -ACNR15
<ul style="list-style-type: none"> - Conexiones de los dispositivos de bajo nivel directamente a los controladores de la planta, sin la necesidad de interconectarse por medio de los dispositivos de E/S - Más diagnósticos para lograr una mejor recolección de datos y detección de fallos - Menos cableado y menor tiempo de arranque que con los sistemas tradicionales con cables integrados en el hardware 	DeviceNet	<ul style="list-style-type: none"> - Módulo escáner DeviceNet 1747-SDN - Módulo de interfaz DeviceNet 1761-NET-DNI
<ul style="list-style-type: none"> - Traspaso de datos a nivel de celdas de trabajo y en toda la planta con mantenimiento de programa 	Data Highway Plus	<ul style="list-style-type: none"> - Procesador SLC 5/04
	DH-485	<ul style="list-style-type: none"> - Interfaz DH-485/RS-232C 1747-KE - Procesadores SLC 5/01, 5/02 ó 5/03 con un acoplador de vínculo aislado 1747-AIC - Procesadores SLC 5/01, 5/02 ó 5/03 con un convertidor de interfaz avanzado 1761-NET-AIC - Convertidor de interfaz de USB a DH-485 1747-UIC
<ul style="list-style-type: none"> - Conexiones entre controladores y adaptadores de E/S - Controladores distribuidos de manera que cada uno tenga sus propias comunicaciones de E/S con un controlador supervisor 	E/S Remotas universales	<ul style="list-style-type: none"> - Escáner de E/S remotas 1747-SN - Escáner de E/S remotas de respaldo 1747-BSN - Adaptador de E/S remotas 1747-ASB - Módulo de comunicación directa 1747-DCM
<ul style="list-style-type: none"> - Módems - Mensajes que envían y reciben caracteres ASCII a/desde dispositivos como terminales ASCII, lectores de códigos de barras, pantallas de mensajes, básculas, o impresoras 	En serie	<ul style="list-style-type: none"> - Procesador SLC 5/03 - Procesador SLC 5/04 - Procesador SLC 5/05 - Procesadores SLC 5/01, 5/02 ó 5/03 con una interfaz DH-485/RS-232C 1747-KE

- Edificio Torre : cinco URD (Nº6 – Nº10)
- Alta Complejidad y Some : dos URD (Nº1 – Nº2)
- Mediana Complejidad y Laboratorios : dos URD (Nº3 – Nº4)
- Servicios (CCM) : una URD (Nº5)

En la central de control y monitoreo se ubica también la URD Nº5, esto debido a que es la unidad principal del sistema, la cual está conectada directamente al computador de la CCM.

3.4.1 Topología física

La red físicamente está dividida en tres partes. La primera es la central de control donde además reside la URD Nº5. La segunda es el grupo de las cuatro primeras unidades recolectoras de datos, desde la Nº1 a la Nº4, esto debido a que físicamente están muy juntas, si bien hay dos grupos en sectores diferentes del hospital, estos sectores son dos pisos contiguos lo que deja a las URD 1 y 2 justo sobre las 3 y 4. La tercera parte es el grupo de las URD 6 a la número 10, las que se encuentran en el edificio torre, ubicadas una sobre otra desde el piso subterráneo hasta el séptimo piso. El detalle de la ubicación de estas URD fue descrito en la figura 2-1 y la tabla 2-1.

Estos tres sectores físicos se pueden apreciar en el plano del hospital que se encuentra en el apéndice B. El plano ofrece la vista superior del hospital y se encuentran indicados los tres sectores mencionados anteriormente. Las distancias entre los sectores son detalladas posteriormente ya que la distancia física que existe entre ellos no refleja la distancia que debe recorrer el cableado de la red, el cual es un punto importante a la hora de la configuración de esta.

3.4.2 Topología lógica

La topología lógica de la red es muy parecida a la física. Si bien esto no es muy común en este caso existen similitudes.

En el primer grupo de URD (Nº1-Nº4), los SLC 500 cuentan con el procesador SLC 5/01 y módulos de entradas/salidas 1746. Para que esta CPU

pueda actuar como un dispositivo remoto es necesario incorporar en su chasis un módulo de comunicación directa 1747-DCM, el cual conecta a estas unidades con un PLC supervisor, en este caso el SLC 5/03 de la URD N°5. El segundo grupo de URD (N°6-N°10) también cuenta con CPU 5/01, salvo la URD N°6 que cuenta con un SLC 5/03 lo que no es relevante para el análisis. Cada URD de éste segundo grupo cuenta con el 1747-DCM que como ya está dicho permite que estas entablen comunicación con la CPU 5/03 de la URD N°5.

La CPU 5/03 de la URD N°5 actúa como un PLC maestro en esta red. Es el PLC central al que llegan todas las señales de las nueve URD restantes. Esto se debe a que dicha unidad está equipada con dos módulos escáner 1747-SN los que realizan un barrido por ambos grupos de controladores, el primer módulo escáner realiza una inspección por los módulos E/S de las URD 1 hasta la 4, y el segundo hace lo propio con el grupo de la URD 6 hasta la 10.

Esta configuración provoca que la topología lógica de la red sea centralizada, es decir que cada dato recogido por las unidades remotas es inspeccionado en la unidad central para luego ser transferido al operador en el PC de la CCM. Esto provoca que el sistema dependa completamente de la URD N°5, si ésta unidad falla ningún proceso puede ser monitoreado aunque cada PLC en su sector esté trabajando correctamente. Lo anterior es claramente una desventaja que debe ser superada cambiando la estructura de la red. La red es esquematizada en un plano ubicado en el apéndice B.

En el apéndice B se observa claramente la conexión explicada en este apartado y se detalla la CPU con que cuenta cada PLC y los módulos 1747-DCM y 1747-SN ubicados en ellos.

El acondicionamiento de aire en los quirófanos es un proceso que actualmente no es monitoreado en la CCM. Si bien es posible intervenir desde la central algunas unidades manejadoras de aire (solamente partir/parar), esto no proporciona mayor información como la temperatura dentro de las salas, ni mucho menos aporta al control de esta. El objetivo de modificar la red es, aparte de cambiar la topología lógica centralizada, poder incorporar el control de

temperatura en las salas de operaciones del hospital con todo aquello que implica agregar un proceso así a un sistema a mediana escala como éste, vale decir incorporar la HMI correspondiente y agregar un algoritmo de control (PID por ejemplo) en la CPU que controle los actuadores del proceso.

Para configurar la red Ethernet se requiere nuevos equipos en las URD y también en la CCM, los cuales son expuestos en el capítulo posterior. Sin embargo, conociendo ya la topología actual y las falencias que éste sistema presenta, es posible modelar la red Ethernet que supere estos problemas mostrando una arquitectura descentralizada e incorporando a esta nueva red el proceso de acondicionamiento de aire.

3.5 SISTEMA INTEGRADO A LA RED ETHERNET

Cualquier sistema moderno de instrumentación y control involucra: la adquisición de datos realizada por instrumentos de medición, la transmisión de estos datos a un controlador, nuevamente la transmisión de los datos a un dispositivo de control y finalmente la actuación sobre el proceso a través de un dispositivo actuador.

En el acondicionamiento de aire esto es de la siguiente manera. La adquisición de datos (en este caso la temperatura) la realiza el transductor de temperatura, dato que es enviado a un controlador SLC 500 el que a su vez envía una señal a una válvula reguladora de flujo la que finalmente actúa regulando el paso del agua por el serpentín de la unidad manejadora de aire.

En todo proceso entonces se encuentran implicados sensores, controladores y actuadores. Sin embargo estos controladores pueden ser parte de una red y esta red puede ser supervisada a través de una interfaz hombre máquina en un PC, con lo que se agregan al sistema de control software y redes. Un proceso de control involucra entonces:

- Sensores
- Controladores

- Actuadores
- Software
- Redes

La figura 3-3 muestra un esquema con todos los elementos mencionados. Cada proceso monitoreado actualmente en la red del hospital puede ser incorporado a esta nueva red Ethernet. Para relacionar cada uno de estos elementos con el acondicionamiento de aire se describe a continuación cada uno de ellos.

Proceso: El procesos de acondicionamiento de aire fue descrito detalladamente en los capítulos anteriores. Básicamente el proceso consta de una unidad manejadora que hace circular el aire a través de los ductos, inyectándolo en el quirófano. El aire proviene del exterior, y desde la misma sala se hace recircular una porción de este, en una relación de 20% y 80% respectivamente.

En la unidad manejadora existen dos serpentines por los que circula agua fría en uno y caliente en el otro, para alterar la temperatura del aire, cada uno con su respectiva fuente de enfriamiento o calefacción según sea el caso, ubicada fuera de la UMA.

Sensores: El sensor en este proceso es un transductor de temperatura, el cual entrega una señal de voltaje proporcional a la temperatura medida. La curva de respuesta de este transductor es lineal, entrega 0 v a 0°C y 10 v a 40°C. Esta curva fue descrita en la figura 2-8. La ubicación de éste sensor en el pabellón es mostrada en la figura 2-2.

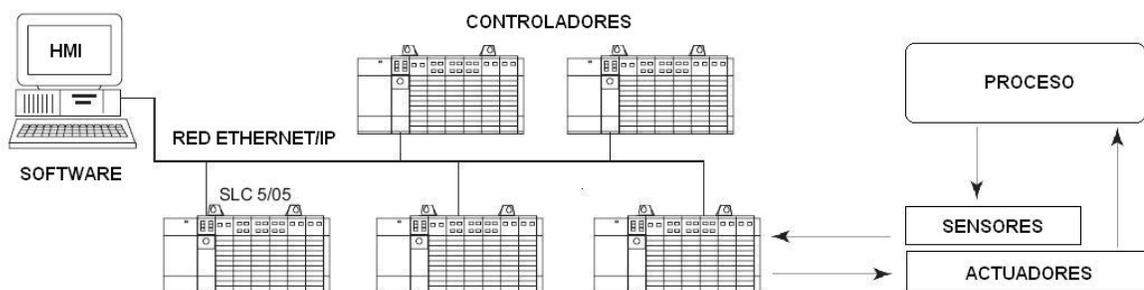


Figura 3-3. Esquema de la integración de un proceso a la red Ethernet/IP.

Actuadores: Las válvulas proporcionales ubicadas en los serpentines para controlar el flujo de agua por estos, son los actuadores de este proceso.

El módulo de salida del SLC 500 (módulo 1746-NO4V), ubicado en la URD más cercana a las manejadoras de aire (URD N°8), entrega una señal de control que varía en un rango de 0 v a 10 v. La señal de control enviada a estas válvulas depende de la temperatura medida en el sensor y del algoritmo de control programado en el controlador.

Básicamente la válvula del serpentín de agua caliente abre al bajar la temperatura, y la válvula de agua fría abre al subir la temperatura. También existe un punto en el que solamente está abierta la válvula de agua fría, o la de agua caliente.

Controlador: El controlador de este proceso es el SLC 500, que cuenta con módulos de E/S discretos y análogos. Para este proceso en particular los módulos deben ser análogos y de voltaje, ya que el transductor y las válvulas manejan señales de voltaje, no de corriente. Los módulos necesarios para ésta aplicación son el 1746-NI4, para recibir la señal desde el transductor de temperatura y el módulo de salida 1746-NO4V que actúa sobre las válvulas moduladoras. El algoritmo de control del PLC es detallado en un capítulo posterior una vez conocido el modelo del sistema, incorporando la simulación del control mediante Matlab.

Redes: Actualmente los controladores forman parte de una red RIO. En su mayoría los SLC cuentan con la CPU 5/01, la cual es adecuada para el control de procesos distribuidos.

Para integrar una red Ethernet se deben realizar cambios que son expuestos en el próximo capítulo. Por el momento es importante esquematizar cómo el proceso se integra a la red Ethernet/IP. En el apéndice B se encuentra un esquema del proceso completo detallando la conexión de sensores y actuadores al PLC, el que a su vez forma parte de la red Ethernet esquematizada en el mismo apartado y en la figura 3-3.

En resumen los sensores y actuadores interactúan con el PLC, el que a su vez integra una red Ethernet. Los PLC restantes en la red pueden obtener datos de este proceso como pueden no hacerlo, todo depende de las necesidades del usuario. En este caso en particular no es necesario configurar enlaces entre los controladores.

En un extremo de la red se encuentra el proceso y en el otro extremo se encuentra el PC de monitoreo. Este PC cuenta con una tarjeta de red Ethernet (en la actualidad todos los PC de escritorio cuentan con esta tarjeta), la que permite integrarlo a la red. La comunicación de este PC con la red se realiza mediante software.

Software: El software incorporado en el PC de la central de control debe ser capaz de entablar comunicación con cada una de las CPU incorporadas en los controladores. Además debe incorporar la posibilidad de crear una HMI para la interacción del usuario con el proceso. Al software del PC de la central de control suele llamársele software SCADA, sin embargo la definición de SCADA comprende todo el proceso de adquisición de datos y control expuestos anteriormente incluyendo el software, y no solamente éste último.

Desde el punto de vista del software un sistema SCADA puede definirse como una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre computadores de control de procesos, con acceso a la planta mediante comunicación digital con los controladores locales, e interfaz de usuario mediante interfaces gráficas de alto nivel. Un paquete SCADA debe permitir desarrollar un sistema abierto, capaz de crecer o adaptarse a las necesidades del proceso. Habitualmente se hace referencia al software de visualización como SCADA.

Los módulos componentes de un software SCADA son: módulo de procesos, configuración y diseño, base de datos, comunicaciones e interfaz de operador. La estructura e interacción de estos módulos se esquematiza en la figura 3-4.

Actualmente el hospital cuenta con un software proporcionado por la empresa Fabelec llamado *Keplware HMI Software*, el cual corre en *modo ejecutor* (run time) en el PC de la central. Esto quiere decir que el software no permite configurar aplicaciones desde el PC a diferencia de los softwares instalados en *modo editor o desarrollador* (development) que si lo permiten. Esta diferencia se produce solamente por el tipo de licencia de uso que se adquiere al implementar el software. Hoy en día Fabelec trabaja con otro software SCADA llamado *Infilik* y existen muchos otros dependiendo de la empresa que los desarrolle. Algunos ejemplos de softwares son: Lookout (National Instrument), Monitor Pro (Schneider Electric), SCADA In Touch (Logitek), Scatt Graph 5000 (ABB) y WinCC (Siemens). Los softwares para el desarrollo de este proyecto son el RSLinx, el cual actúa como servidor OPC permitiendo el acceso a las unidades remotas desde la central de control, y el RSView en el cual se desarrolla la HMI para la interacción del usuario. La descripción detallada de el equipamiento necesario para la implementación de la red ethernet/IP incluyendo los softwares, es parte del próximo capítulo.

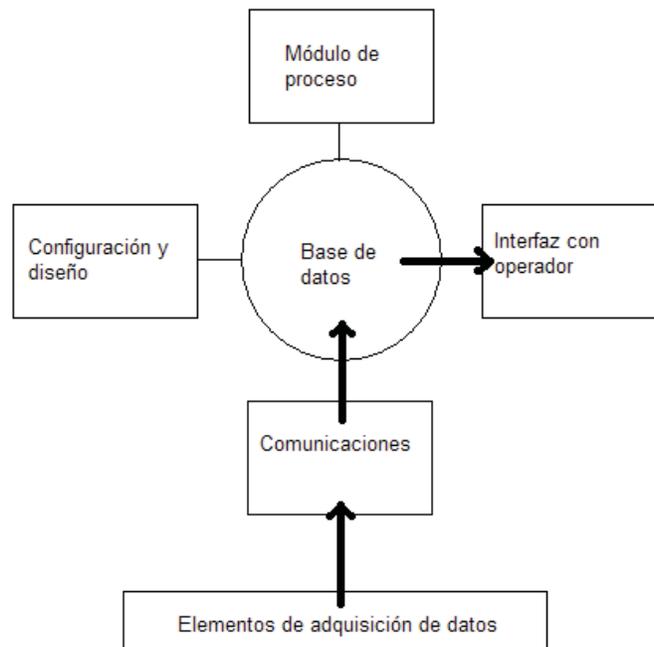


Figura 3-4. Módulos componentes de un software SCADA.

En el apéndice B es posible revisar los planos esquemáticos de las redes mencionadas en éste capítulo, además de la incorporación del proceso de acondicionamiento de aire a la red Ethernet.

CAPÍTULO 4

EQUIPAMIENTO QUE SOPORTA EL SISTEMA INTEGRADO

4.1 INTRODUCCIÓN

Una red de controladores Ethernet puede ser configurada desde cero con equipos nuevos o una red existente puede ser adaptada para que su comunicación se realice a través del protocolo ethernet/IP. Ambas opciones tienen ventajas y desventajas.

En el primer caso existe la ventaja de elegir los equipos de acuerdo a las necesidades de la planta, sin tener que acomodar antiguos sistemas a los nuevos equipos pero con la desventaja del costo que implica configurar una red desde cero. En el segundo caso se tiene un sistema base que puede ser incluido en una red de mayor envergadura que trabaje bajo Ethernet utilizando gateways, o bien cambiar el protocolo de la red, ya sea DH-485 o DF1 por ejemplo, a protocolo Ethernet/IP cambiando los equipos principales como CPU y controladores remotos.

El segundo es el caso en el que se desarrolla este proyecto ya que el hospital cuenta con una red de controladores instalada, la que debe ser modificada en su estructura para que estos se comuniquen a través del nuevo protocolo. La ventaja de trabajar sobre una red ya estructurada radica en que los procesos y la instrumentación de estos ya están instalados, por lo tanto solamente cabe centrarse en la comunicación y topología de la red. La desventaja es que al utilizar un nuevo protocolo se debe reprogramar cada proceso, crear nuevos enlaces entre controladores y en este caso puntual modificar la interfaz gráfica, ya que se debe cambiar el software HMI.

En este capítulo se detallan el equipamiento que necesita la red actual y los cambios requeridos para cambiar su topología e implementar éste nuevo protocolo Ethernet/IP.

4.2 SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE LA RED

La selección de los equipos se realiza mediante una serie de pasos. El objetivo de estructurar la red mediante pasos es darle un orden a la elección de los equipos para evitar la incompatibilidad de unos con otros. Por ejemplo, si la elección de la fuente de poder de un chasis se realiza antes de conocer la totalidad de los módulos de entradas/salidas y CPU requeridos, existe la posibilidad que la corriente de backplane entregada por esta fuente no sea la adecuada, por lo tanto se debe volver a seleccionar otra provocando desorden en la configuración de la red.

4.2.1 Módulos de entrada/salida de los controladores

La red de controladores del Hospital Naval Almirante Nef ya tiene incorporados un gran número de módulos de E/S, principalmente discretos. Específicamente los módulos de entradas discretas son:

- Input DC - Source modelo 1746 – IV16
- Input DC - Sink modelo 1746 – IB16

También existen dos tipos de módulos de salida, estos son:

- Output DC – Sink modelo 1746 – OV16
- Output Relay modelo 1746 – OW16

Dado que los procesos monitoreados actualmente funcionan adecuadamente con estos módulos, no se pretende realizar cambios en estos, y la integración de una nueva CPU SLC 500 no altera la composición de estos pero sí su programación. Esta es una de las ventajas de seguir monitoreando los procesos con dispositivos de la misma marca.

Sin embargo para la aplicación en cuestión (control y monitoreo de temperatura) se deben incorporar módulos de E/S analógicas, ya que la medición de temperatura y la actuación de los controladores sobre las válvulas proporcionales requiere de señales de voltaje variable y no solamente entradas discretas.

Las válvulas utilizadas para regular el paso de agua caliente o agua fría en los serpentines de las unidades manejadoras de aire, responden a señales de 0 a 10 volts, por lo que los módulos utilizados deben tener esas especificaciones de voltaje. También la transducción de temperatura a voltaje que realiza el transductor ubicado en la sala de operaciones del hospital requiere que la información entregada sea leída por un dispositivo que interprete entradas analógicas. La elección de estos módulos es hecha en base a un análisis previo de las características del transductor y de las características de todos los módulos de E/S análogos que dispone Allan Bradley en sus catálogos.

Los módulos de entrada y salida análogos escogidos para la aplicación son:

- Módulo de entrada análoga 1746 – NI4
- Módulo de salida análoga 1746 – NO4V

Se escoge el módulo de entrada análogo 1746-NI4 ya que, según los factores más relevantes tomados en cuenta como número de entradas (4 suficiente para la aplicación), y los niveles de corriente y voltaje (-20 a 20mA o bien -10 a 10 VCC), aseguran una buena comunicación con las válvulas y el transductor de temperatura.

El módulo de salida análoga escogido es el 1746-NO4V. Este módulo entrega una salida de voltaje de -10 a 10VCC, a diferencia del módulo 1746-NO4I que entrega corriente. Al ser las válvulas moduladoras controladas por voltaje, la elección de este módulo calza perfectamente en la aplicación. El número de salidas de voltaje que dispone este módulo es 4, por lo que cubre las necesidades de hasta 2 manejadoras de aire. Las características más detalladas de estos módulos se encuentran en el apéndice C.

Algunas características de estos módulos de E/S analógicas son: entradas de corriente o voltaje seleccionables, aislamiento del backplane, bloques de terminales extraíbles y retroalimentación de diagnóstico. Los canales de entrada de 1746-NI4, 1746-NIO4I y 1746-NIO4V se filtran para rechazar el ruido de alta frecuencia y proporcionan una resolución de 14 a 16 bits (en base al rango).

Todos los módulos de salida analógica de 4 canales proporcionan una resolución de 14 bits y una velocidad de conversión de 2.5 ms.

4.2.2 Comunicaciones de red.

La familia de controladores SLC 500 proporciona dispositivos y módulos de comunicaciones que dan compatibilidad con las distintas redes mencionadas anteriormente como Ethernet/IP, Controlnet, Devicenet, DH+, DH-485, E/S remotas universales y en serie. La red evaluada en este proyecto es la red Ethernet.

La principal razón de la elección de la red Ethernet es que ésta constituye una red abierta, lo cual permite que dispositivos de diferentes marcas puedan convivir en la red haciendo posible la expansión de esta sin depender de un solo proveedor o desarrollador de redes. Otra ventaja importante es que Ethernet está evolucionando constantemente gracias justamente a que cuenta con un protocolo abierto y estandarizado.

4.2.3 Procesador SLC 500

Como se mencionó anteriormente el SLC 500 es un controlador modular, esto permite seleccionar el procesador, la fuente de alimentación eléctrica y los módulos de E/S que se ajusten a la aplicación de forma separada.

Según la tabla 3-1 y los antecedentes expuestos, el procesador que mejor se adapta a las necesidades de conexión es el SLC 5/05. A continuación se describen las características más importantes de éste procesador.

El procesador SLC 5/05 proporciona la misma funcionalidad que el procesador SLC 5/04 con comunicaciones estándares de Ethernet en vez de comunicaciones DH+. La comunicación de Ethernet se realiza a 10 ó 100 Mbps, lo que proporciona una red de alto rendimiento para carga o descarga de programas, edición en línea y mensajes entre dispositivos. El puerto ethernet del procesador es, por decirlo de alguna manera, una tarjeta de red que puede ser

configurada tal como las de los PC, asignándole una dirección IP estática o dinámica por medio de DHCP o BOOTP.

4.2.4 Chasis SLC 500

Los chasis modulares SLC proporcionan flexibilidad en la configuración de sistemas. Hay cuatro tamaños de chasis disponibles para adaptarse a las necesidades de la aplicación. Existen chasis de 4 ranuras, 7 ranuras, 10 ranuras y 13 ranuras en base a los requisitos de los componentes modulares de hardware. El chasis modular SLC 1746 aloja al procesador o módulo adaptador de E/S y a los módulos de E/S. Cada chasis requiere de su propia fuente de alimentación eléctrica, la cual se monta en el lado izquierdo del chasis (ver figura 3-1 y 4-1). Se pueden conectar un máximo de 3 chasis con los cables de interconexión de chasis.

En este punto de la selección de componentes no existe mayor dificultad ya que las URDS actuales cuentan con un chasis de 13 ranuras modelo 1746 – A13, el cual no tiene problemas actualmente y cumple las condiciones necesarias para la expansión de la red a Ethernet.

4.2.5 Fuentes de alimentación eléctrica

Al configurar un sistema modular, se debe contar con una fuente de alimentación eléctrica para cada chasis. Una configuración cuidadosa del sistema producirá un rendimiento óptimo del mismo. La carga excesiva de las tomas de la fuente de alimentación eléctrica puede producir una desactivación de la fuente de alimentación eléctrica o un fallo prematuro.



Figura 4-1. Chasis de 13 ranuras.

El sistema SLC tiene tres fuentes de alimentación de CA y cuatro de CC. La fuente de alimentación se monta en el lado izquierdo del chasis con dos tornillos. En el caso de las fuentes de alimentación de CA, la selección de 120/240 volts se hace colocando el puente de manera que coincida con el voltaje de entrada. Las fuentes de alimentación eléctrica de SLC tienen un indicador LED que se ilumina cuando la fuente de alimentación eléctrica funciona correctamente. Las fuentes de alimentación eléctrica están diseñadas para resistir cortes breves de energía. Un corte de energía por un período de hasta 3 segundos no afecta la operación del sistema.

En este punto la selección está limitada por los equipos que actualmente están en uso. La fuente de alimentación de todas las URD es de 24 VDC modelo 1746 – P3. Esta fuente funciona correctamente y cumple con los requisitos para expandir el sistema a las redes propuestas por lo que no es necesario realizar cambio alguno. Las características de la fuente de alimentación 1746 – P3 se exponen en el apéndice C.

4.2.6 Software de programación

Los SLC 500 se programan con lógica de escalera, el cual es un lenguaje de programación muy usado en los PLC por lo que existe una gran cantidad de personal capacitado en este ámbito. La red Ethernet permite tener acceso a cualquier controlador de ésta desde la central de control, diferenciándolo del resto por su dirección IP, esto permite por ejemplo programar la CPU desde la central de control.

En la red Ethernet son necesarios tres softwares.

El primero es *RSLogix 500*, que permite programar los SCL 500 con lógica escalera. El segundo es *RSLinx* el cual detecta todos los componentes de la red permitiendo configurar el protocolo de comunicación y los enlaces entre los SLC. Es como el servidor OPC de la red.

El tercero es el *RSView*, que permite crear la interfaz gráfica de usuario o HMI. La red no puede ser configurada si falta alguno de estos tres softwares.

a.- Software RSLogix 500

El paquete de programación de lógica de escalera RSLogix 500 es el software que se utiliza actualmente en el hospital para programar los SLC 500 y no se necesitan cambios en este. RSLogix 500 es compatible con programas creados con los paquetes de programación basados en DOS de Rockwell Software para las familias de procesadores SLC 500 y MicroLogix, lo que hace que facilita el mantenimiento de programas entre plataformas de hardware. RSLogix 500 se puede usar con Windows 98, Windows NT (4.0), Windows 2000 ó Windows XP.

b.- Software RSLinx

El software RSLinx es un paquete servidor de comunicaciones que proporciona conectividad a los dispositivos en la planta para una amplia variedad de aplicaciones. RSLinx acepta varias aplicaciones de software comunicándose de manera simultánea a una variedad de dispositivos en muchas redes distintas, funcionando como servidor OPC. RSLinx ofrece una interface gráfica de fácil uso para desplazarse en la red. Permite seleccionar un dispositivo y tener acceso a una variedad de herramientas integradas de configuración y monitoreo. Se proporciona un conjunto completo de drivers de comunicación para las necesidades de conexiones de red. RSLinx se puede usar con Windows 98, Windows 2000, Windows ME, Windows XP o Windows NT version 4.0.

c.- Software RSView 32

RSView 32 es un software HMI que contiene diversas herramientas de edición gráfica para el desarrollo de aplicaciones HMI. Estas herramientas abarcan desde aplicaciones a nivel de máquina automática hasta aplicaciones HMI de nivel supervisor (para procesos distribuidos). Este software utiliza el sistema de tags para indicar la entrada o salida exacta de un controlador en la red. RSView 32 permite hacer referencia a tags existentes en el controlador directamente en el software, sin necesidad de duplicar los tags, lo cual es común con otros sistemas HMI. Al ser éste software del mismo proveedor de los

equipos controladores, ofrece una óptima conexión con estos a través de RSLinx. Sin embargo también es posible integrar dispositivos de otros proveedores a través de KEPServer, el cual es un servidor OPC que proporciona a los SLC 500 comunicación con dispositivos industriales de otros fabricantes.

4.2.7 Conmutador Ethernet

Debido a que la red está dividida en tres sectores físicos distantes entre sí, es necesario interconectar estos sectores y descentralizar la red, modificándola de modo que la topología sea de bus lineal. Este objetivo se logra gracias a la instalación de conmutadores (switches). En cada uno de los sectores de la red se instala un switch Ethernet los cuales deben cumplir ciertas características básicas. Un switch ethernet cumple funciones de conmutación de datos y segmentación de red, separando ésta en tres dominios de colisión, mejorando el tráfico de la red al evitar que los datos se “aglomeren” en el bus, esto gracias a que permite a la CCM discriminar los mensajes de acuerdo a su dirección y destino. También hace posible la interacción entre controladores sin que los paquetes de datos pasen necesariamente por la central de control. Otro propósito de la instalación de switches en esta red es interconectar los controladores con la central de control, superando las limitaciones físicas de distancia con la transformación de la señal desde cable de cobre par trenzado UTP a una señal enviada por fibra óptica. Por lo tanto una de las características que deben tener los switches es la incorporación de puertos tanto de cable UTP (jack RJ-45) como de fibra óptica.

El switch para esta aplicación es el Stratix 8000 modelo 1783 – MS06T. Este switch cuenta con los siguientes puertos y características.

- 8 puertos 10/100BASE-T
- 1 puerto 10/100/1000BASE-T (RJ45)
- 2 puertos 100BASE-FX (Fibra óptica multimodo, conector SC)
- Soporta control de flujo para Full Duplex (IEEE 802.3x)
- Soporta VLAN (802.1Q)

4.2.8 Medios de red

El cable usado para la interconexión de una red se llama el medio de la red. Ethernet tiene dos tipos de medios: medios de cobre y medios ópticos. El medio más utilizado en redes Ethernet es el cable de par trenzado UTP CAT 5 que soporta una distancia máxima de 100 metros. Otro de los medios utilizados en redes Ethernet es la fibra óptica, este es utilizado principalmente porque permite cubrir grandes distancias, hasta 2000 metros.

Estos dos medios son utilizados en esta red. Los tres grupos de URD están separados por distancias entre los 160 y 170 metros. A continuación se detallan las instalaciones de cableado.

Switch 1

- Ubicado URD N°5 junto a la central de control.
- Conectado a la URD N°5 mediante cable UTP CAT 5. Distancia 1 metro.
- Conectado al switch 2 mediante fibra óptica. Distancia 170 metros.
- Conectado al switch 3 mediante fibra óptica. Distancia 160 metros.

Switch 2

- Ubicado en la URD N°4.
- Conectado a cada URD del primer grupo (N°1 hasta la N°4) mediante cable UTP CAT5. La distancia del switch con cada URD es de 5 metros.
- Conectado al switch 1 mediante fibra óptica. Distancia 170 metros.

Switch 3

- Ubicado en la URD N°6.
- Conectado a cada URD del segundo grupo (N°6 hasta la N°10) mediante cable UTP CAT5. La distancia máxima del switch es con la URD 10 y es de 42 metros.
- Conectado al switch 1 mediante fibra óptica. Distancia 160 metros.

El esquema de conexión explicado en esta sección es dibujado en el apéndice B.

4.2.9 Tarjeta de red (NIC)

Una tarjeta de interfaz de red (NIC) se conecta a una motherboard (placa madre de un PC u otro dispositivo) y suministra los puertos para la conexión de éste a la red. Las tarjetas de red se comunican con la red a través de conexiones seriales y con el computador a través de conexiones en paralelo. Son la conexión física entre las estaciones de trabajo y la red. Al seleccionar una tarjeta de red se debe tener en cuenta los tres siguientes factores: el tipo de red (por ejemplo Ethernet, token ring, FDDI u otro tipo), el tipo de medios (por ejemplo cable de par trenzado, cable coaxial o fibra óptica), y el tipo de bus del sistema (por ejemplo PCI o ISA). En este caso se selecciona una tarjeta ethernet con puerto RJ-45 para cable par trenzado UTP CAT5.

Las NIC proporcionan un identificador exclusivo de dirección MAC y un acceso estructurado a los medios de acceso compartido. Una NIC es parte fundamental en el proceso de entramado, que consiste en empaquetar los bits para transportarlos. También crea señales y realiza interfaz con los medios usando transceptores incorporados.

4.3 CONFIGURACIÓN DE LA RED MEDIANTE SOFTWARE

El presente estudio se realiza en base a las condiciones físicas y económicas del Hospital Naval Almirante Nef. Ya se conocen los equipos necesarios para la implementación de la red y las opciones de comunicación entre estos. Sin embargo, para conocer con anterioridad la capacidad de la red y con ello saber hasta que punto se puede extender, es necesaria alguna herramienta de simulación que permita asegurar que la configuración desarrollada es válida y no quepa duda de su factibilidad.

Rockwell Automation provee en su página web algunas herramientas que ayudan principalmente a la elección de equipos industriales según las aplicaciones que se requieran. Así es posible encontrar desde catálogos hasta pequeños simuladores de equipos, como es el caso de los Panel View. En este

proyecto se configura la red descrita anteriormente mediante el software de configuración y simulación de redes *Integrated Architecture Builder* (Figura 4-2).

El *Integrated Architecture Builder* (IAB) es una herramienta de software gráfica para configurar sistemas de automatización de Rockwell Automation. Es muy útil para seleccionar hardware y generar cuentas de material para diferentes usos. El IAB incluye reguladores, módulos de entrada/salida y generador de redes.

IAB posee la capacidad de simular redes con diferentes protocolos de comunicación incorporados. En una misma red se pueden configurar diferentes sistemas con sus respectivos gateways e IAB verifica si la configuración es o no la correcta, sin embargo no entrega una lista o información sobre los errores cometidos en la configuración de la red, por lo que el ingeniero debe darse cuenta de este y solucionarlo por sus propios medios.

La aplicación del IAB en este proyecto es relativamente sencilla, ya que se trata de un solo tipo de red (Ethernet). Configurando correctamente los dispositivos, sus direcciones IP e integrando los gateways o interfaces correctos el programa revisa la red y entrega el mensaje *status OK*.

Para generar la red se crea un nuevo espacio de trabajo (new workspace), luego se debe agregar una red (new network – Ethernet IP). Escogida la red Ethernet, IAB ofrece un switch que se modela de acuerdo a los requerimientos de la red.

En este caso se seleccionan tres switches, dos con un número de 5 puertos para conexión de cable de cobre UTP y un puerto con conexión de fibra (estos corresponden a los switches 2 y 3), y el tercero con dos terminales de fibra y el resto UTP (switch número 1).

Luego de los tres switches en la red, es necesario incorporar los dispositivos de hardware, en este caso los SLC 500 con un chasis de 13 slots. A cada SLC se le agrega la CPU 5/05 la cual cuenta con tarjeta de red ethernet. Se agrega a la red simulada los 10 dispositivos SLC 5/05 (correspondientes a las URD N°1 a N°10) con sus respectivos módulos E/S.

Los módulos de cada chasis corresponden exactamente a los que actualmente se encuentran en el hospital, con la salvedad de que los DCM (módulos de comunicación directa utilizados para comunicar los SLC 500 con un PLC supervisor) fueron extraídos al no necesitarse para la comunicación Ethernet, al igual que los dos módulos escáner SCAN 1747 – SN ubicados en la URD N°5.

Además se incorporaron a la URD N°8 los dos módulos de entrada y salida análogos, los cuales controlan las variables de las manejadoras de aire en el proceso de automatización para el control de temperatura en los quirófanos.

Los módulos de control análogos se incorporan en la URD N°8 por la cercanía de ésta con las unidades manejadoras de aire, como fue explicado anteriormente.

La figura 4-3 muestra la configuración del hardware de la URD N°8 en el IAB.

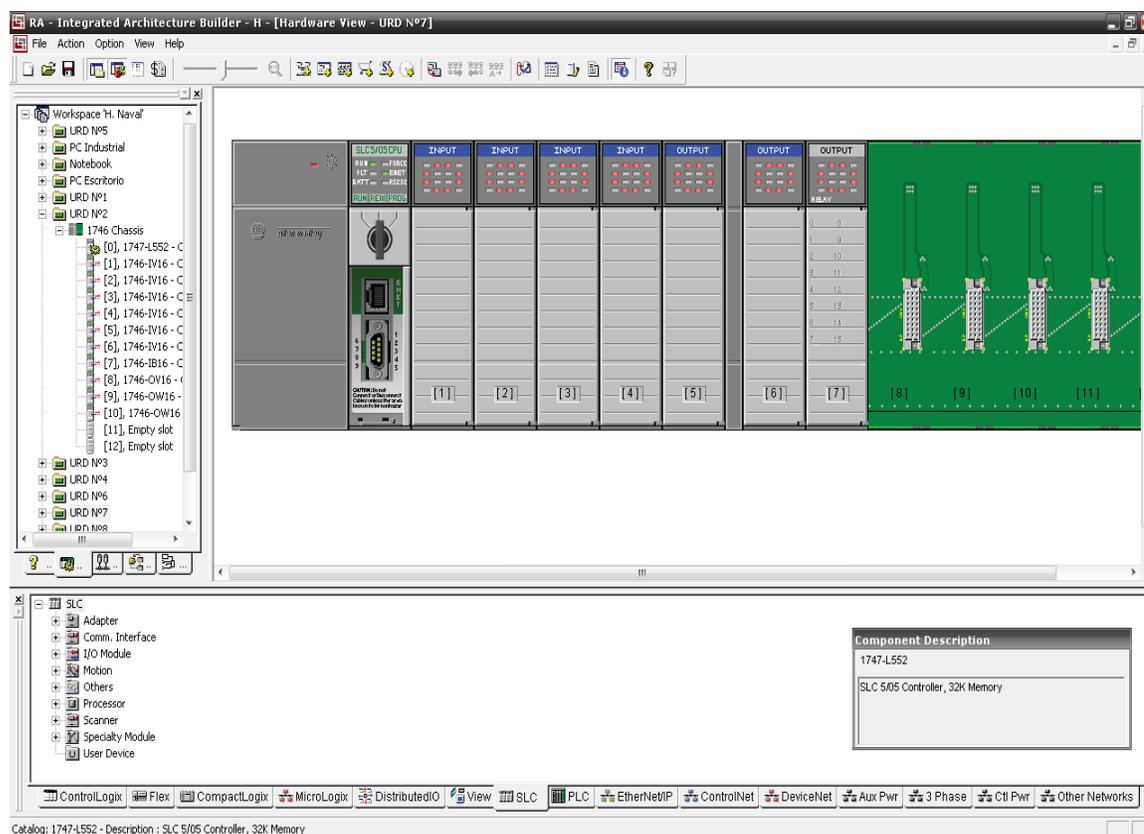


Figura 4-2. Imagen del IAB. Simulador de redes de Rockwell.

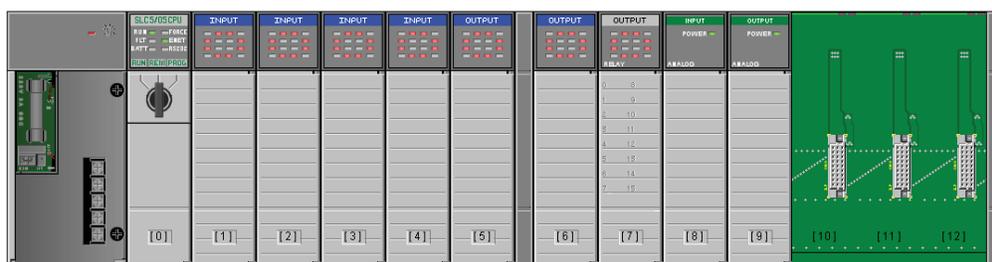


Figura 4-3. URD N°8 con CPU 5/05 y módulos de E/S analógicos creado en el simulador IAB.

Además de incorporar las URD que se modernizan con este proyecto, se debe incorporar el PC de la central de monitoreo, el cual se comunicará a través de cable UTP CAT5 con el switch 1. En IAB al igual que con los chasis SLC 500 se pueden incorporar al PC los elementos necesarios para la comunicación con las redes. En este caso se necesita de una Ethernet NIC card y de los softwares que fueron mencionados anteriormente. RSLinx es necesario como servidor OPC, RSLogix como programador en lenguaje escalera, y RSView32 generador de HMI.

Una vez que están todos los elementos de hardware y software necesarios, se deben incorporar estos a la red Ethernet creada. Pulsando sobre el dispositivo con el botón derecho del mouse y seleccionando “add to network” se incorpora el SLC a la red creada. Cada uno de los dispositivos queda entonces conectado al switch de la red. Luego de esto se le asigna una dirección IP a cada uno. Para verificar que todos los dispositivos están correctamente configurados se utiliza la opción *General Check*, que debe abrir un cuadro de diálogo mostrando las redes (Networks) y los sistemas (System) configurados. Al hacer clic sobre la red el mensaje debe ser *Status OK*, de lo contrario se ha configurado erróneamente algún dispositivo. Las figuras 4-4, 4-5 y 4-6 muestran la configuración final de la red con los SLC 5/05 correctamente configurados, al igual que el PC de la central de monitoreo, y los tres switches. La red queda entonces tal como se expuso anteriormente, el switch 1 conectado al PC de la central de control y a la URD N°5 mediante cable UTP y conectado a los switches 2 y 3 mediante fibra óptica, el switch 2 conectado a las URD 1 a la 4 por

medio de cable de cobre UTP y al switch 1 por fibra óptica, y el switch 3 conectado a las URD 6 a la 10 con cable UTP y al switch 1 con fibra. En el software se puede diferenciar el cableado de los switches ya que este asigna la nomenclatura Fa1/n o GI1/n a los puertos en los que se conectan medios de cobre (UTP), y señala con SFP1 y SFP2 a los puertos con conexión de fibra. Además del cableado de la red, en IAB se configura la dirección IP de cada equipo conectado a la red, controladores y PC. En resumen una completa configuración de la red. La figura 4-7 muestra el mensaje *Information OK* una vez configurada y probada correctamente la red.

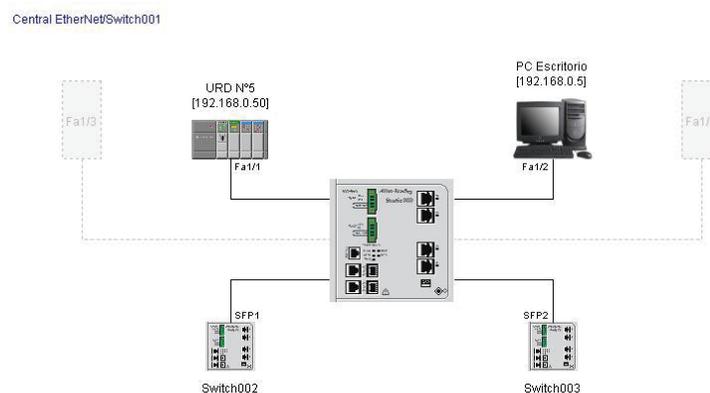


Figura 4-4. Red ethernet configurada en el simulador IAB. Switch N°1.

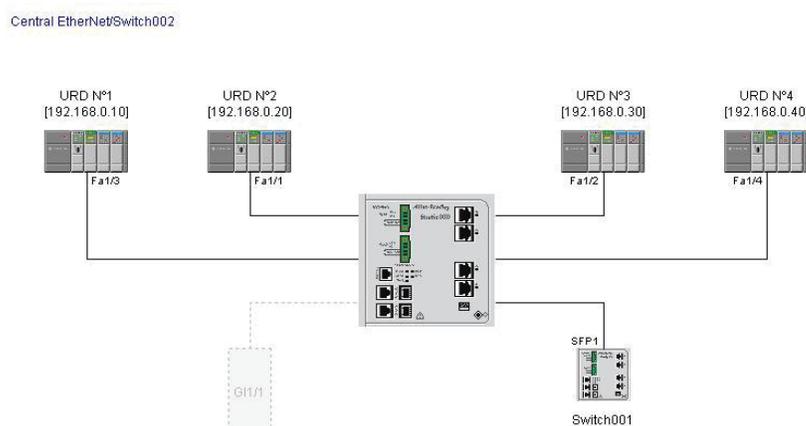


Figura 4-5. Red ethernet configurada en el simulador IAB. Switch N°2.

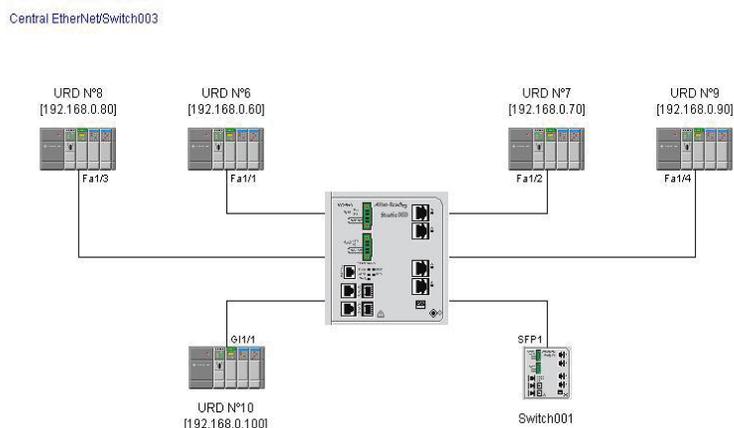


Figura 4-6. Red ethernet configurada en el simulador IAB. Switch 3.

Gracias a IAB es posible comprobar que con los recursos disponibles actualmente en el hospital, la red Ethernet/IP tiene recursos de sobra para expandirse a futuro. Integrated Architecture Builder permite que se dimensionen las capacidades físicas de la red, como el tipo de chasis utilizado y el número de puertos disponibles en estos para adicionar nuevas señales.

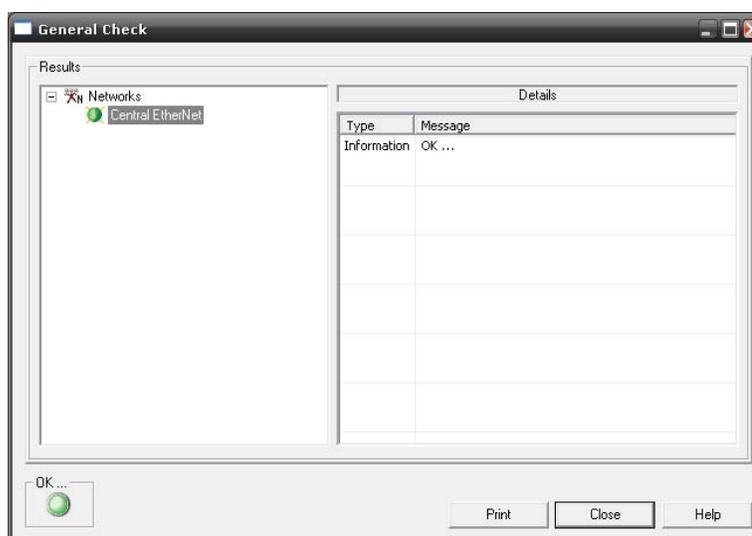


Figura 4-7. Mensaje enviado por IAB una vez finalizada correctamente la configuración de la red.

Gracias a la configuración detallada de hardware que ofrece IAB, es posible observar que cada URD deja libre cuatro o cinco slots en cada chasis, permitiendo adicionar módulos E/S digitales o análogos según se requiera para aplicaciones como el monitoreo del alumbrado por sectores, monitoreo y control de las UPS en sectores que no cuentan con supervisión, control de la red de calefactores, entre otros muchos procesos que se desean incorporar actualmente en el hospital, aparte claro está del monitoreo de temperatura en pabellones.

CAPÍTULO 5

MODELACIÓN DEL PROCESO PARA EL CONTROL DE LAS VARIABLES

5.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de un controlador continuo o discreto, ya sea mediante técnicas clásicas o en variables de estado, requiere de un modelo de la planta a controlar que caracterice su comportamiento dinámico. Este modelo permite realizar y validar mediante simulación el ajuste de los parámetros del controlador que permiten obtener una respuesta que satisfaga las especificaciones de diseño. El presente capítulo tiene como objetivo entregar una propuesta al control de temperatura con un algoritmo de control tipo PID. La CPU 5/05 de los controladores de SLC 500 provee la opción de programación PID, por lo que el lazo de control propuesto en éste capítulo es perfectamente aplicable en el sistema final implementado.

5.2 IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA

Una fase importante en el diseño es la identificación que tiene como objetivo obtener un modelo matemático que reproduzca con suficiente exactitud el comportamiento del proceso. De la exactitud del modelo obtenido dependerá posteriormente el buen comportamiento del controlador diseñado.

Existen dos métodos básicos de identificación: identificación analítica (modelado) e identificación experimental (identificación clásica). Para el modelado se requiere un conocimiento muy especializado sobre la tecnología del proceso, mientras que para la identificación clásica (que es el método más directo) se requiere aplicar al proceso señales especiales como escalones, rampas, impulsos, sinusoides o señales aleatorias.

Para el tipo de planta que se ha de controlar es suficiente una identificación clásica, utilizando el escalón como señal de prueba. La función escalón es la señal que más se ha aplicado en la práctica convencional del control automático, obteniéndose con ella modelos sencillos suficientemente exactos. La respuesta de un proceso tecnológico a la señal escalón puede aproximarse mediante: un modelo de primer orden con o sin retardo, un modelo de segundo orden aperiódico con o sin retardo, un modelo de segundo orden subamortiguado con o sin retardo. La elección de uno de los modelos anteriores depende de la forma de la respuesta transitoria y del grado de precisión que se desee en el ajuste.

El modelo de primer orden se puede utilizar en procesos simples o en otros más complejos si no se requiere mucha exactitud. El quirófano como planta térmica se modela como un sistema de primer orden con retardo, puesto que los sistemas térmicos tienden a ofrecer una respuesta monótona creciente sin oscilaciones. La expresión matemática para este tipo de modelo es:

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-Ls}}{\tau \cdot s + 1} \quad \text{Ecc. 5-1}$$

En la ecuación, **K** es la ganancia del proceso, **L** el tiempo de retardo y τ la constante de tiempo. Dichos parámetros se obtienen de la respuesta obtenida en el proceso de identificación ante una entrada en escalón.

Para identificar los parámetros exactos del modelo de primer orden se deben conocer las variables involucradas en el proceso. Como se mencionó anteriormente el proceso cuenta con dos variables de entrada, estas son la apertura de las válvulas que controlan el flujo de agua a través de los serpentines de calentamiento y enfriamiento. La variable controlada, o variable de salida es la temperatura del pabellón. El proceso es entonces multivariable, por lo que su modelo matemático es una matriz de transferencia con dos términos. El modelo linealizado del sistema está definido por las siguientes funciones de transferencia:

$$[Y(s)] = \begin{bmatrix} G_1(s) \\ G_2(s) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix}$$

Ecc. 5-2

Donde:

U_1 : Entrada del serpentín de calefacción

U_2 : Entrada del serpentín de enfriamiento

Y : Salida de temperatura en el pabellón

$G_1(s)$: Función de transferencia entre U_1 e Y

$G_2(s)$: Función de transferencia entre U_2 e Y

Para obtener la respuesta del sistema se excita el proceso con un escalón del serpentín de calentamiento, vale decir con la apertura total de la válvula que regula el flujo de agua caliente por el serpentín, y se obtienen los parámetros de la función de transferencia con un método gráfico. Posteriormente, con el sistema en equilibrio, se excita nuevamente el sistema con un escalón del serpentín de enfriamiento. Ambas respuestas se aproximan a un sistema de primer orden con retardo, la diferencia está en que el primer sistema tiene ganancia positiva, ya que se produce un aumento de la temperatura, y el segundo una ganancia negativa.

5.3 PROCESO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de los datos de temperatura se realiza mediante un sensor de temperatura y un microcontrolador.

El microcontrolador envía a un computador portátil la información de temperatura vía comunicación serial y mediante una aplicación desarrollada en Visual Basic estos datos son importados a un archivo de texto con el cual los mismos pueden ser graficados en Matlab. Los datos de temperatura son adquiridos mediante el sensor LM35DZ el cual está calibrado en grados Celsius, es lineal y tiene un factor de escala de 10mV/°C.

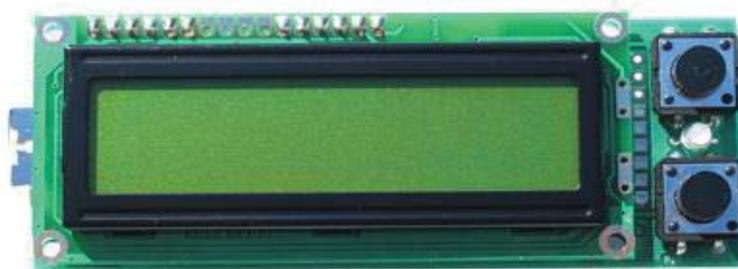


Figura 5-1. Tarjeta de desarrollo PIC – MT – USB.

El sensor es conectado a una de las entradas convertoras A/D del PIC16F877A el que a su vez está conectado con un display LCD de 16x2 que muestra la temperatura medida. El código C del PIC creado en el compilador MikroC básicamente inicia la comunicación serial entre este y el PC, recibe los datos desde el convertor A/D y los envía por el puerto serial para que estos puedan ser recibidos y visualizados gráficamente con una aplicación desarrollada en Visual Basic.

El código C del microcontrolador y el código Basic de la aplicación que gráfica los datos y los importa a un archivo de texto se encuentran el apéndice D. El PIC junto con la pantalla LCD de 16x2 están integrados en una tarjeta de desarrollo de Olimex, la PIC – MT – USB. Esta tarjeta cuenta con un puerto USB por el cual es posible entablar una comunicación serial PC-PIC gracias al chip FT232BM integrado en la tarjeta. En el apéndice E se observa el diagrama de conexión del PIC con el display LCD, el chip FT232BM y el sensor de temperatura LM35DZ. La figura 5-1 muestra la tarjeta de desarrollo PIC – MT – USB.

5.4 CURVAS DE REACCIÓN DE LA TEMPERATURA

Para conocer el comportamiento de la temperatura en el pabellón, el sistema es excitado mediante un escalón del serpentín de calefacción obteniéndose una curva que registra el aumento progresivo de ésta y cuya

gráfica final se aproxima a la respuesta de un sistema de primer orden con retardo. La misma prueba se efectúa con el serpentín de enfriamiento, provocando una disminución en la temperatura y cuya respuesta se aproxima a un sistema de primer orden, con retardo y con ganancia negativa. Los procesos térmicos se caracterizan por lo general por ser largos, vale decir cuentan con tiempos de retardo y constantes de tiempo relativamente altos.

Las condiciones de la prueba del serpentín de calefacción son las siguientes:

Fecha : Viernes 20 de Marzo de 2009

Hora	Temperatura °C	Tiempo	Observaciones
14:12	19,5	0'	Se enciende la UMA
14:45	30,7	33'45''	Se apaga la UMA
14:57	23,4	45'	Fin de la adquisición de datos

Las condiciones de la prueba del serpentín de enfriamiento son las siguientes:

Fecha: Viernes 20 de Marzo de 2009

Hora	Temperatura °C	Tiempo	Observaciones
15:32	22	0'	Se enciende la UMA
15:57	17,9	25'	Continúa el proceso
16:39	16,1	67'50''	Fin de la adquisición de datos

Las figuras 5-2 y 5-3 muestran las curvas de reacción ante la entrada escalón de los serpentines de calefacción y enfriamiento respectivamente.

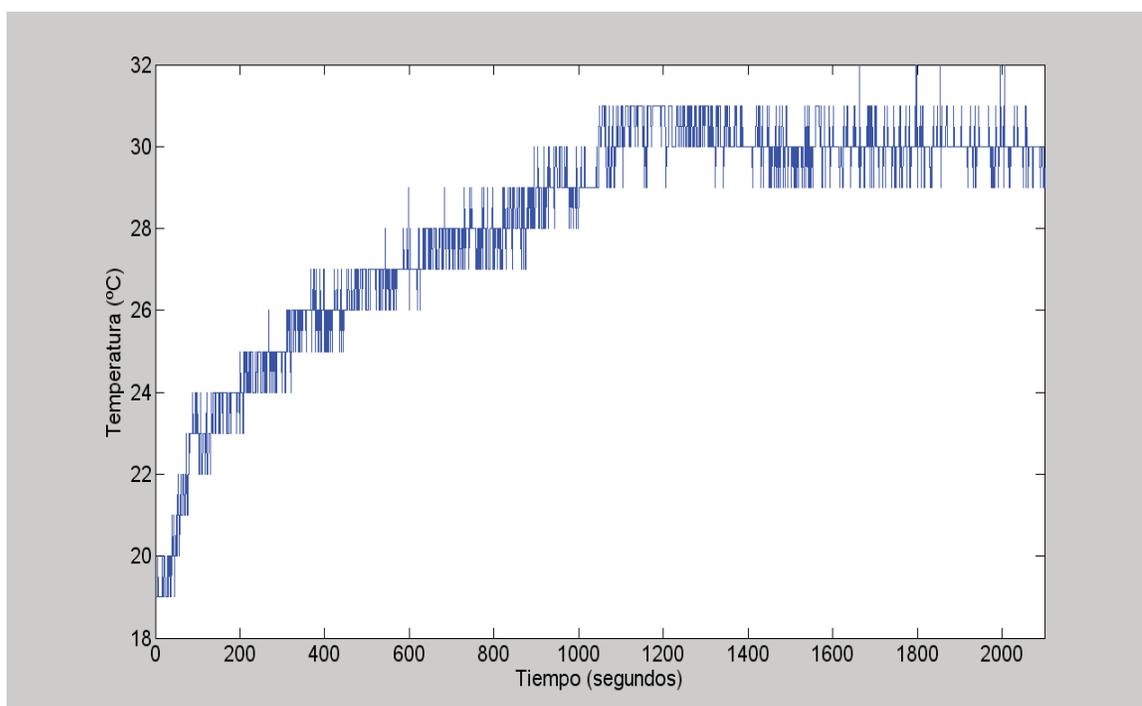


Figura 5-2. Curva de reacción de la temperatura ante un escalón del serpentín de calefacción.

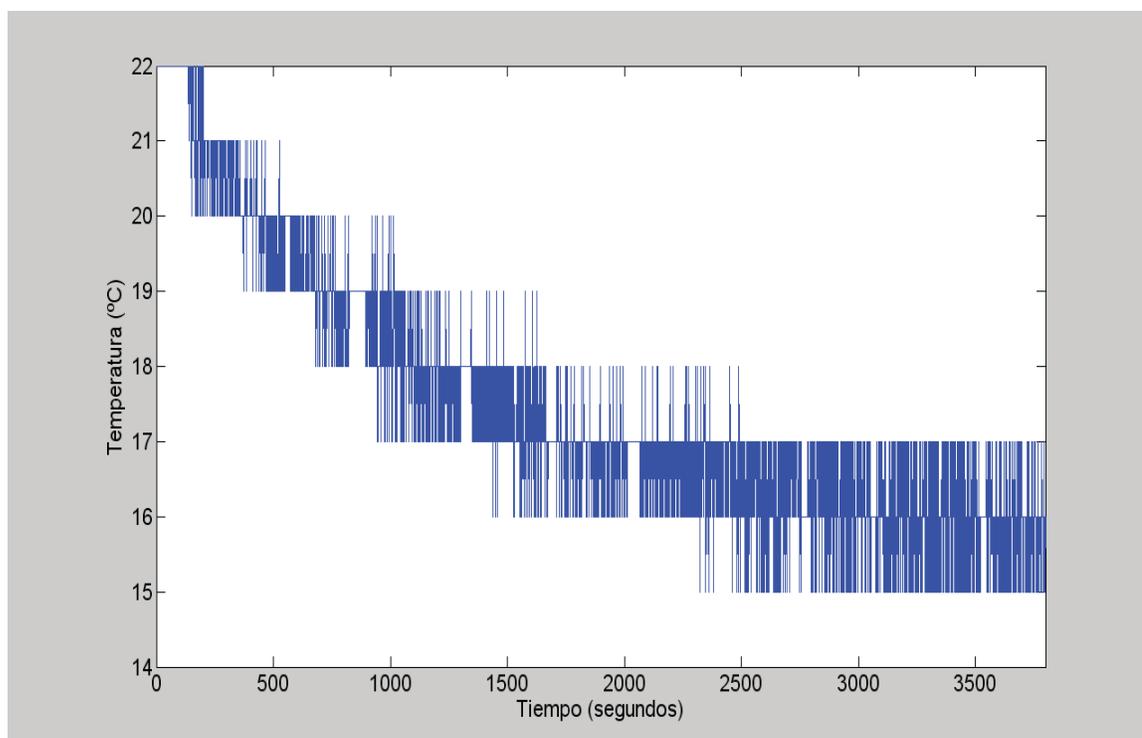


Figura 5-3. Curva de reacción de la temperatura ante un escalón del serpentín de enfriamiento.

5.4.1 Estimación de los parámetros de las funciones de transferencia

Los modelos no paramétricos se basan siempre en la obtención de la respuesta transitoria o en frecuencia del sistema que, si bien pueden utilizarse directamente para el diseño de controladores, no sucede lo mismo para simulación. Si se desea simular dichos modelos, es necesario obtener una aproximación paramétrica de los mismos. La señal más simple utilizada para el análisis transitorio es la función escalón. La respuesta de un sistema simple a la señal escalón puede aproximarse generalmente a uno de los tres siguientes modelos paramétricos en el dominio continuo: primer orden, segundo orden sobreamortiguado, segundo orden subamortiguado. En los tres casos puede haber o no retardo.

Se expone a continuación el método gráfico que se ha utilizado tradicionalmente para la estimación de los parámetros de un modelo de primer orden con retardo. Si la respuesta al escalón del proceso tiene la forma de la figura 5-4, que corresponde a un sistema de primer orden con retardo, la expresión que describe la respuesta es:

$$y(t) = A \cdot U \cdot (1 - e^{-\frac{-(t-L)}{\tau}}) \quad \text{Ecc. 5-3}$$

Donde U es la amplitud del escalón aplicado a la entrada. Para:

$$t = L + \tau \quad \text{Ecc. 5-4}$$

$$y(L + \tau) = A \cdot U \cdot (1 - e^{-1}) = 0,632 \cdot A \cdot U \quad \text{Ecc. 5-5}$$

De esta forma, localizando el punto donde la respuesta alcanza el 63.2% de su valor final, se obtiene el valor de τ . La ganancia A se determina como:

$$A = \frac{Y_{est}}{U} \quad \text{Ecc. 5-6}$$

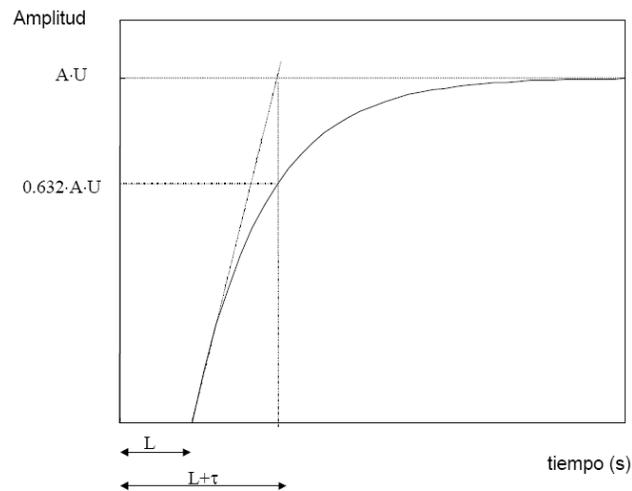


Figura 5-4. Respuesta al escalón de un sistema de primer orden con retardo.

Donde Y_{est} es el valor estacionario de la salida. El valor de L se obtiene directamente de la gráfica localizando el tiempo en el cual comienza a responder el sistema. Según se observa en el gráfico de la figura 5-2, la temperatura máxima que alcanza el sistema es de $30,7^{\circ}\text{C}$. Considerando que el valor inicial es de $19,5^{\circ}\text{C}$ la ganancia del sistema es de 11,2. El tiempo que tarda en responder el sistema es de 30 segundos, mientras que el tiempo en el que el sistema alcanza un 63,2% de 400 segundos.

Por lo tanto, los valores para $G_1(s)$ son:

$$K = 30,7 - 19,5 = 11,2$$

$$L = 30 \text{ [seg.]}$$

$$\tau = 400 \text{ [seg.]}$$

Por lo tanto $G_1(s)$ queda expresada según la ecuación 5-7:

$$G_1(s) = \frac{11,2 \cdot e^{-30s}}{400s + 1} \quad \text{Ecc. 5-7}$$

Del mismo modo, se obtienen los valores de $G_2(s)$:

$$K = 16 - 22 = -6$$

$$L = 110 \text{ [seg.]}$$

$$\tau = 800 \text{ [seg.]}$$

Por lo tanto $G_2(s)$ queda expresada según la ecuación 5-8:

$$G_2(s) = \frac{-6 \cdot e^{-110s}}{800s + 1} \quad \text{Ecc. 5-8}$$

Una vez obtenidas las funciones de transferencia es posible simular el sistema final en Matlab controlado con un algoritmo PID. La estrategia de control utilizada para el proceso térmico, se basa en la sintonización de un algoritmo PID con el método de Ziegler-Nichols para cada sistema por separado, una vez obtenidos los parámetros PID se integran ambos y se simula el sistema final. Esta estrategia se denomina control descentralizado.

5.5 VALIDACIÓN DEL MODELO OBTENIDO

Para validar el modelo obtenido se debe efectuar una comparación entre los datos medidos en terreno (datos de planta), y los datos estimados para cada función de transferencia.

Los datos obtenidos en la medición de temperatura al activar el serpentín de agua caliente indican que transcurridos 33 minutos y 45 segundos la temperatura en el pabellón es de 30,7°C. Según esto se espera entonces que para un tiempo $t = 2025$ [seg.], se mida a la salida $y(t) = 30,7^\circ\text{C}$.

La ecuación 5-9 muestra la función que describe la respuesta temporal de la temperatura.

$$y(t) = A \cdot U \cdot (1 - e^{-\frac{-(t-L)}{\tau}}) + y_0 \quad \text{Ecc. 5-9}$$

La condición inicial para la prueba del serpentín de calefacción es:

$$y_0 = 19,5^\circ\text{C} \quad \text{Ecc. 5-10}$$

Reemplazando los valores estimados para la función de transferencia en la ecuación 5-9, la temperatura medida es:

$$y(2025) = 11,2 \cdot (1 - e^{-\frac{-(2025-30)}{400}}) + 19,5 \quad \text{Ecc. 5-11}$$

$$y(2025) = 30,62^{\circ}C$$

Ecc. 5-12

También es posible realizar una comparación gráfica entre la curva obtenida de las mediciones en el quirófano (Figura 5-2) y la curva entregada por la respuesta escalón de la función $G_1(s)$. Para ello se superponen ambas curvas en un mismo gráfico. La figura 5-5 muestra la superposición de los datos obtenidos en terreno y la función de transferencia obtenida de éstos. La similitud entre ambas demuestra que los valores de K , L y τ son correctos y por lo tanto demuestra que el modelo es válido.

El mismo procedimiento se realiza para validar la función de transferencia del serpentín de enfriamiento.

Según los datos obtenidos en las mediciones realizadas en terreno la temperatura en el quirófano, transcurridos 25 minutos desde el comienzo de la adquisición de datos es de $17,9^{\circ}C$. Reemplazando los valores de K , L y τ obtenidos para la función $G_2(s)$ en la ecuación 5-9 y considerando la temperatura inicial de $22^{\circ}C$, el valor de temperatura obtenido para un tiempo $t = 1500$ [seg.] es:

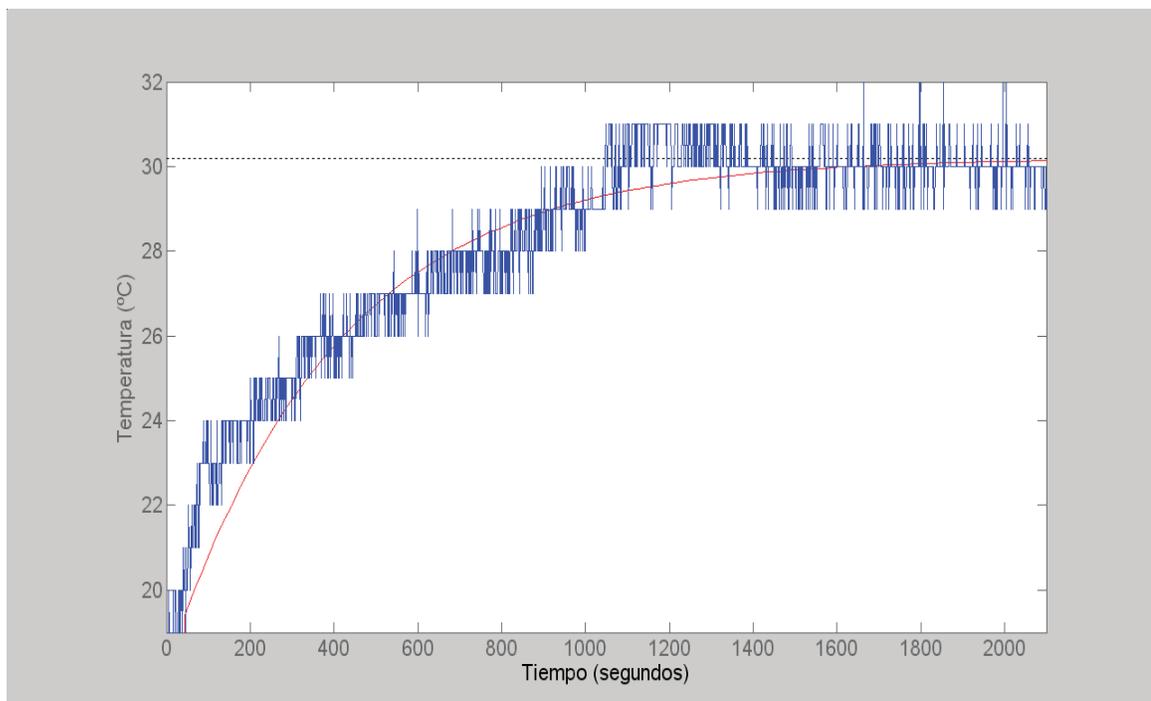


Figura 5-5. Respuesta escalón del serpentín de calefacción (curva azul) y función de transferencia $G_1(s)$ del sistema modelado (curva roja).

$$y(1500) = -6 \cdot \left(1 - e^{\frac{-(1500-110)}{800}}\right) + 22 \quad \text{Ecc. 5-13}$$

$$y(1500) = 17,1^\circ C \quad \text{Ecc. 5-14}$$

La comparación gráfica entre la respuesta escalón con los valores medidos en el pabellón y la función de transferencia $G_2(s)$ se muestra en la figura 5-6. La similitud entre ambas y el resultado de la ecuación 5-14 validan el modelo obtenido.

5.6 SIMULACIÓN DEL CONTROL EN MATLAB

El control de temperatura en los pabellones es un proceso multivariable, ya que cuenta con dos variables de entrada y una de salida. El diagrama de bloques que mejor representa el sistema de control de la planta térmica es el que muestra la figura 5-7. Con la herramienta Simulink de Matlab se simula el sistema de control final con un algoritmo PID para cada válvula. La obtención de los parámetros del controlador se expone a continuación.

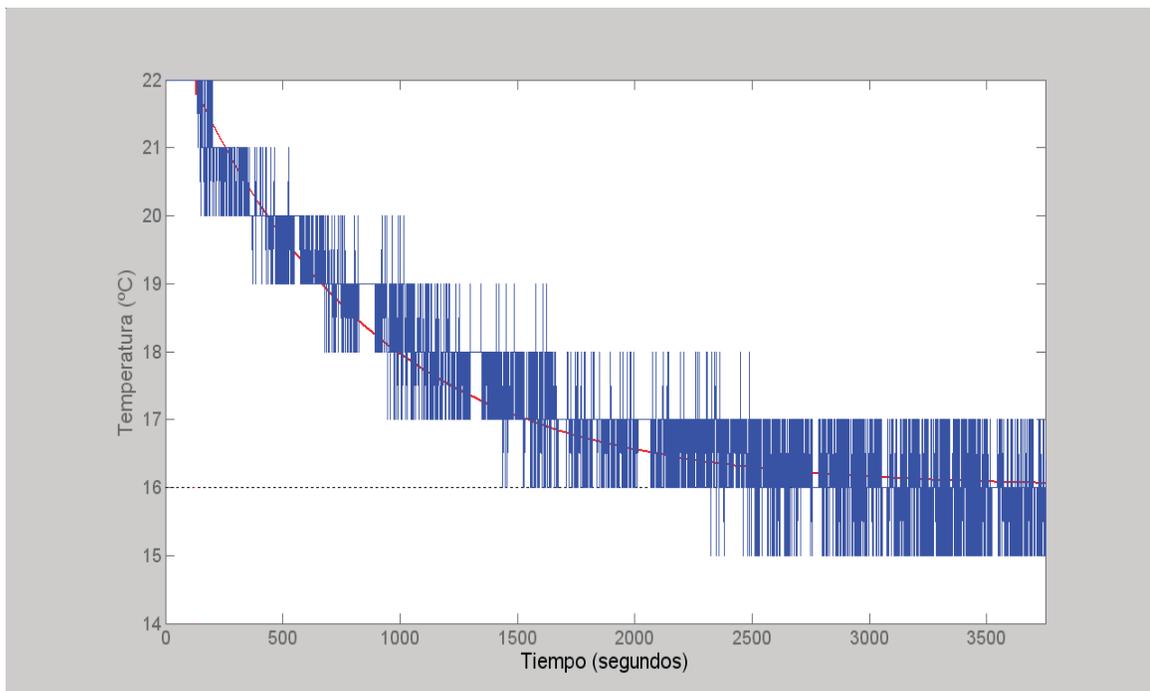


Figura 5-6. Respuesta escalón del serpentín de enfriamiento (curva azul) y función de transferencia $G_2(s)$ del sistema modelado (curva roja).

5.7 Sintonización de los controladores PID

El método de Ziegler Nichols para la sintonización de PID es un método empírico. Este método es válido sólo para plantas estables a lazo abierto. El procedimiento es el siguiente:

1. Aplicar a la planta sólo control proporcional con ganancia K_p pequeña.
2. Aumentar el valor de K_p hasta que el lazo comience a oscilar. La oscilación debe ser lineal y debe detectarse en la salida del controlador.
3. Registrar la ganancia crítica $K_p = K_c$ y el período de oscilación P_c de $u(t)$, a la salida del controlador.
4. Ajustar los parámetros del controlador PID de acuerdo a la tabla 5-1.

Tabla 5-1. Sintonización de parámetros PID según Ziegler-Nichols.

	K_p	T_r	T_d
P	$0,5 K_c$		
PI	$0,45 K_c$	$P_c/1,2$	
PID	$0,6 K_c$	$P_c/2$	$P_c/8$

En este punto se debe tener especial cuidado en la estructura PID utilizada por Ziegler-Nichols en comparación con la usada por Matlab.

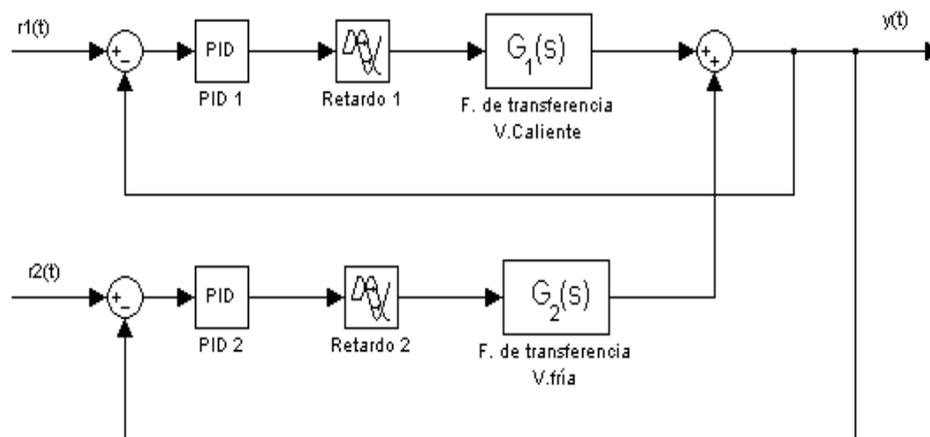


Figura 5-7. Diagrama de bloque del sistema controlado.

$$G_c = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \text{Ziegler - Nichols} \quad \text{Ecc. 5-9}$$

$$G_c = K_p + \frac{K_p}{T_i s} + K_p T_d s \text{ --- Matlab} \quad \text{Ecc. 5-10}$$

Teniendo En cuenta estas diferencias se adaptan los parámetros de la sintonización Ziegler-Nichols a los parámetros K_p , K_i , K_d de Matlab de la siguiente manera:

PID_1

$$K_{osc} = 1,95$$

$$P_{osc} = 115,58 \text{sg.}$$

$$K_p = 0,6 \cdot 1,95 = 1,17$$

$$T_i = \frac{115,58}{2} = 57,79 \Rightarrow K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{1,17}{57,79} = 0,02$$

$$T_d = \frac{115,58}{8} \Rightarrow K_d = \frac{115,58}{8} \cdot 1,17 = 16,9$$

Por lo tanto los parámetros ingresados en Matlab para el PID_1 son: $K_p=1,17$; $K_i=0,02$; $K_d=16,9$.

La respuesta escalón del sistema $G_1(s)$ controlado con el PID_1 se muestra en la figura 5-7.

El segundo controlador es sintonizado de manera similar, quedando sus parámetros de la siguiente manera:

PID_2

$$K_{osc} = 2,03$$

$$P_{osc} = 414,14 \text{sg.}$$

$$K_p = 0,6 \cdot 2,03 = 1,22$$

$$T_i = \frac{414,14}{2} = 207,07 \Rightarrow K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{1,22}{207,07} = 0,006$$

$$T_d = \frac{414,14}{8} \Rightarrow K_d = K_p \cdot T_d = 1,22 \cdot 51,77 \Rightarrow K_d = 63,16$$

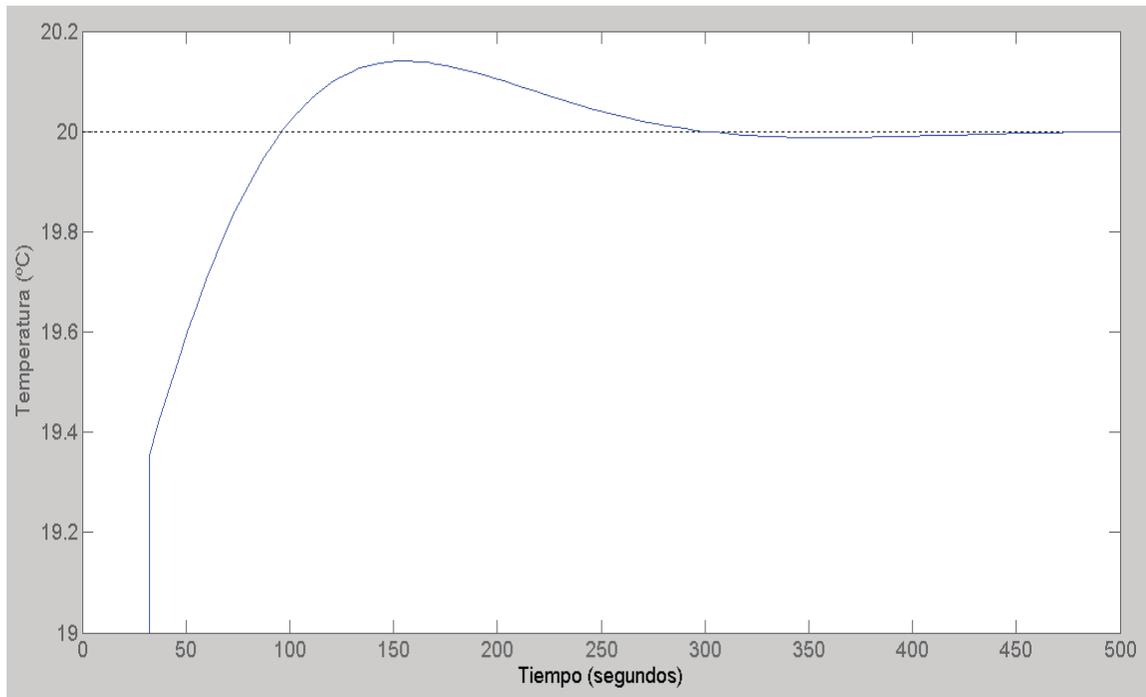


Figura 5-7. Respuesta escalón del serpentín de calefacción controlado con PID_1 .

Con estos los valores del PID_2 la respuesta del sistema $G_2(s)$ controlado se muestra en la figura 5-8.

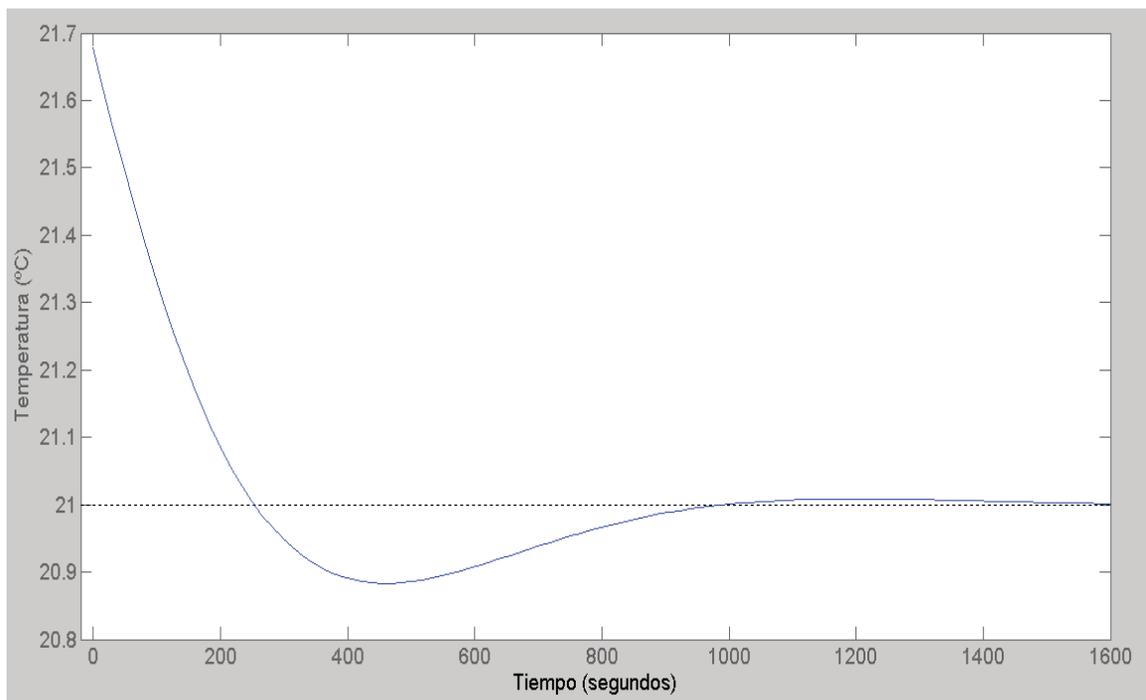


Figura 5-8. Respuesta del serpentín de enfriamiento controlado con PID_2 .

Con los valores sintonizados para los PID 1 y 2 la respuesta final del sistema controlado queda como muestra la figura 5-9. El porcentaje de sobrepaso de la respuesta final es menor al 20% y el tiempo que demora en estabilizarse la respuesta es aproximadamente de 16 minutos. Si se considera que el proceso es largo, con constantes de tiempo elevadas, el tiempo de estabilización es aceptable, así como también lo es el porcentaje de sobrepaso.

Con estos valores se asegura un buen control de la temperatura en el pabellón.

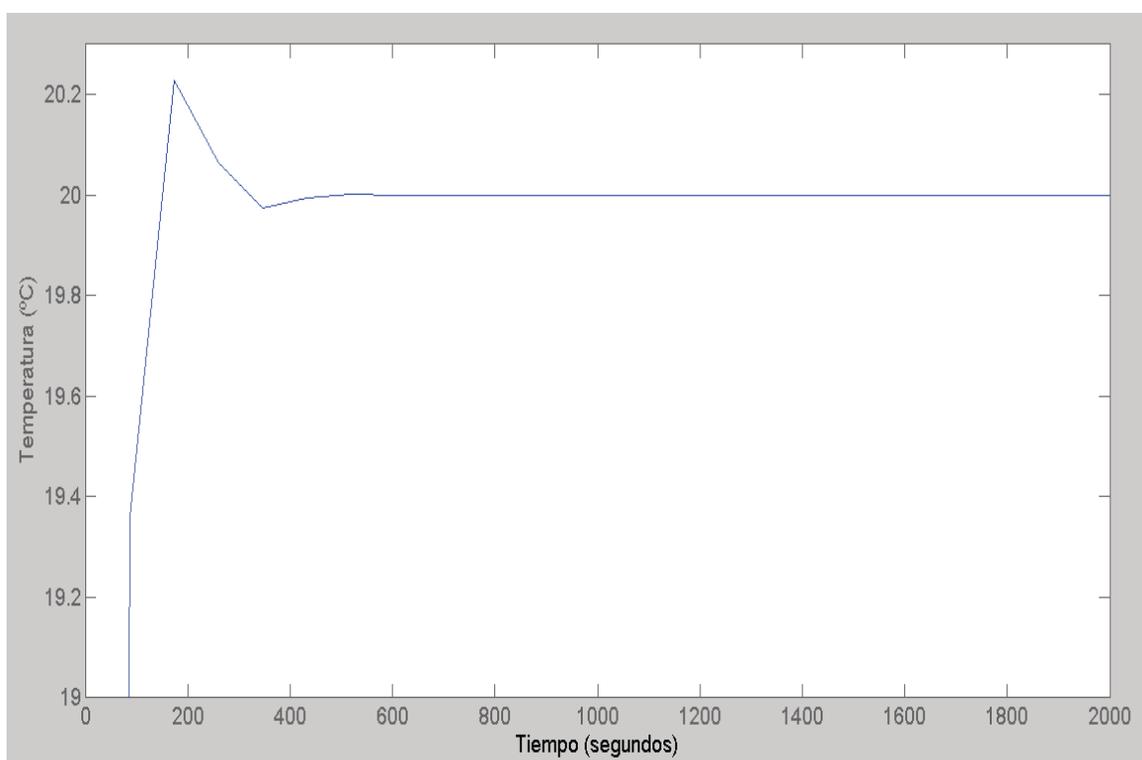


Figura 5-9. Respuesta final del sistema controlado.

CAPÍTULO 6

EMULACIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO EN UN SISTEMA PROTOTIPO

6.1 INTRODUCCIÓN

El proceso bajo interés es el control y monitoreo de temperatura en los quirófanos del hospital ya que actualmente no todas las unidades manejadoras de aire de los pabellones están automatizadas.

La reestructuración de la red actual no solo conlleva una mejora en la recepción y tratamiento de los datos recibidos desde terreno, también permite el ingreso de nuevas señales desde procesos que necesitan ser monitoreados y que no lo están actualmente. Es por este motivo que junto con el mejoramiento de la red de controladores actual se crea una aplicación tipo SCADA (sistema de control supervisión y adquisición de datos) para ejemplificar la implementación del proyecto.

Crear un sistema SCADA significa básicamente entablar un sistema de comunicación de una central de monitoreo, con un proceso en particular o con varios procesos simultáneamente. El proceso cuenta con un bus de campo (sensores y actuadores) y las variables de interés son observadas en una interfaz gráfica, pudiéndose modificar el estado de válvulas o motores según sea necesario.

Para un sistema SCADA existe gran variedad de softwares. Los protocolos industriales han ido evolucionando hasta el punto de estandarizarse. Para comunicarse con los dispositivos de campo las aplicaciones SCADA requerían de múltiples drivers dependiendo cada uno de cada dispositivo instalado. Actualmente el uso de un servidor OPC, permite interactuar a las aplicaciones de usuario con los dispositivos de campo.

Rockwell automation provee a sus usuarios de RSLinx, un servidor OPC exclusivo para el uso de dispositivos Allen Bradley. Un servidor OPC es un

software abierto, es decir, maneja varios protocolos y no solamente los de una marca o empresa específica. KepServer es un software OPC que provee de una amplia gama de protocolos de comunicación industrial por lo tanto es una alternativa viable para el prototipo creado.

6.2 CONFIGURACIÓN FÍSICA DE LA RED

La red es configurada en el laboratorio de la universidad y consiste en conectar dos PLC S7-224XP de Siemens a una red Ethernet. Se utiliza un hub para conectar ambos PLC y un PC portátil a la red. Los PLC se conectan a la red mediante módulos CP 243-1.

La conexión del módulo al PLC se realiza conectando los bornes M y L+ del módulo a los bornes M y L+ del PLC. Ello permite alimentar el módulo. El bus de datos se conecta a través del cable plano izquierdo que se conecta al enchufe rectangular derecho del PLC. Una vez conectados módulo y PLC se puede alimentar el PLC.

Una vez realizadas las conexiones en los dos PLC, se conectan a la red mediante cable UTP CAT5 usando el conector RJ45. La figura 6-1 muestra la red configurada. El computador conectado permite monitorear y programar los PLC, una vez configurados para Ethernet.

6.3 CONFIGURACIÓN LÓGICA DE LA RED

Para trabajar en red, los PLC deben ser configurados en aspectos lógicos de la red, como direcciones IP y enlaces entre PLC. Para configurar un PLC, éste se conecta mediante cable PPI y se enlaza mediante el software STEP 7 Micro/Win 32.

Una vez enlazado el PLC mediante PPI el asistente Internet de Micro/Win 32 busca el módulo CP 243-1 IT e indica su posición.

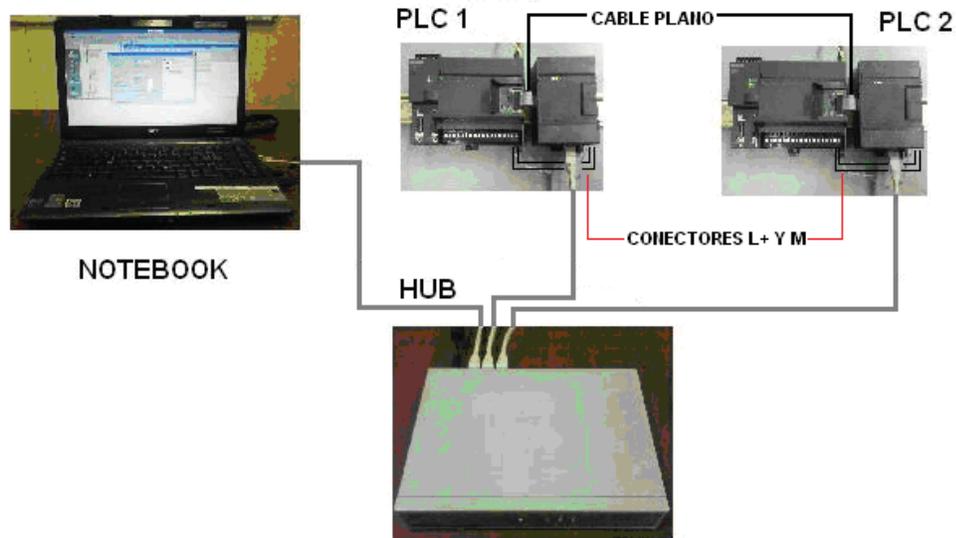


Figura 6-1. Red Ethernet configurada en el laboratorio (configuración física de la red).

Luego de identificar el módulo se indica la configuración IP de éste. Se ingresa dirección, máscara y gateway, según corresponda. Se mantiene por omisión el resto de las configuraciones.

Realizada la configuración IP, se habilita la seguridad de la configuración de red del módulo en caso de sobrescribir la configuración. Para ello se habilita “*Generar protección CRC*”.

Cada PLC se configura de la misma manera pero con direcciones IP diferentes. Al igual que a los PLC al PC que monitorea el sistema (PC virtual) se le asigna una dirección IP. La máscara de sub red de los tres dispositivos debe ser la misma.

Este sistema prototipo es configurado desde un PC virtual creado por el software de Microsoft Virtual PC, disponible gratuitamente a través de Internet. Esto implica que la máquina virtual y el PC deben estar también en red, por lo que a ambos se le asigna una dirección IP y una máscara de sub red. El resumen de la asignación de IP en la red se muestra en la tabla 6-1.

Tabla 6-1. Resumen de las direcciones IP.

	PC	PC Virtual	PLC 1	PLC 2
Dirección IP	192.168.0.5	192.168.0.10	192.168.0.20	192.168.0.30
Máscara de subred	255.255.255.0	255.255.255.0	255.255.255.0	255.255.255.0

6.4 CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR OPC

OPC (OLE for porcces control) es un mecanismo estándar de comunicación que permite interconectar en forma libre numerosas fuentes de datos. Un servidor OPC flexibiliza la incorporación de dispositivos de múltiples fabricantes a una red, simplificando las configuraciones de estos. Para la red Ethernet creada en el laboratorio se utiliza el servidor Kepware ServerEX.

En éste servidor se configura la comunicación hacia los PLC S7 224XP de Siemens utilizando protocolo Industrial Ethernet. La opción seleccionada en Kepware es el protocolo *Siemens TCP/IP Ethernet*. También se configura la tarjeta de red utilizada.

A continuación se configuran los dispositivos conectados a la red. Se selecciona el S7-200 asignándole la dirección IP que corresponda (según tabla 6-1). Al finalizar la configuración se repiten los pasos para agregar el segundo PLC con su respectiva dirección IP.

Una vez incorporados los PLC a la red se configura un ítem en el servidor que corresponde a un registro del PLC, es decir, se vincula un registro del PLC a un ítem OPC. Esto se realiza mediante el uso de tags. Se configura el nombre o etiqueta (Tag) del ítem, por ejemplo *VCALIENTE*.

En el campo *address* se configura la dirección del registro, para ello se ocupa la sintaxis del hardware. En este caso se ingresa el registro *AQ0* que corresponde a una salida analógica (la que controla la válvula de agua caliente). Se repite el proceso para configurar nuevos ítem en ambos dispositivos. La tabla 6-2 muestra el resumen de los tags utilizados en ambos dispositivos.

Tabla 6-2. Resumen de Tagnames en los dispositivos.

Device	Tag Name	Address	Tipo de dato	Descripción
PLC1	Uma	Q0.1	Boolean	Controla la partida y parada de la UMA
	Temp	AI0	Word	Lee la temperatura
	VFRIA	AQ0	Word	Controla la válvula de agua fría
	MANUALAUTOF	M0.1	Boolean	Selecciona control automático (PLC) o desde la pantalla
	Q00	I0.0	Boolean	Revisa estado del controlador
PLC2	Temp	AI0	Word	Lee la temperatura
	VCALIENTE	AQ0	Word	Controla la válvula de agua caliente
	MANUALAUTOC	M0.0	Boolean	Selecciona control automático (PLC) o desde pantalla

6.4.1 Cliente OPC

KEPServer posee una aplicación que ejecuta un cliente OPC llamada *OPC Quick Client*. Esta aplicación permite comprobar la configuración del servidor OPC.

Desde el cliente OPC es posible modificar registros de memoria del servidor OPC (tags), los que a su vez modifican el estado de las entradas, salidas, o marcas del PLC, realizando una acción sobre éste.

La interfaz gráfica de usuario (HMI) permite modificar el valor de estos registros a través de los objetos creados en ella, con acciones como hacer clic o presionar alguna tecla. El valor “*Good*” en la columna *Quality* del cliente OPC, indica que el registro está direccionado y hay comunicación hacia este ítem.

6.5 CONFIGURACIÓN DE LA HMI DEL PROCESO

La interacción entre los dispositivos de campo y el PC o estación de

monitoreo se realiza a través del servidor OPC, que habilita la comunicación con el PLC. Pero la interacción entre el usuario y el proceso necesita que los datos sean fácilmente entendidos por el operador. Es por esto que se crean interfaces de usuario.

Para la aplicación que ejemplifica el control de la temperatura en los quirófanos, se crea una interfaz en un software de aplicación industrial llamado Intouch, que es un software similar en características al RSView 32 utilizado para la aplicación en el hospital. Este software permite generar imágenes que facilitan el entendimiento del proceso para el operador y entregan datos relevantes de éste. En este caso la interfaz muestra los ductos de aire, junto con una manejadora de aire estándar. Esta interfaz permite observar el estado de las variables de interés en este proceso. La temperatura, por medio de un display y un indicador tipo análogo, la apertura de las válvulas, el estado del controlador y la unidad manejadora de aire.

Cada botón de la interfaz gráfica se relaciona con alguna variable del proceso por medio de tags. Un tag es un identificador que se relaciona con un registro de memoria, que modifica un parámetro del servidor OPC y éste a su vez modifica un registro del PLC. La figura 6-2 muestra la ventana principal de la HMI.

Esta aplicación cuenta además con animaciones para que sea aún más evidente el funcionamiento del sistema de acondicionamiento de aire. Cuando se enciende la manejadora de aire, el ventilador de la esquina inferior izquierda comienza a girar y las flechas de inyección de aire hacia el pabellón comienzan a moverse. Estas animaciones se realizan mediante la programación de scripts o utilizando las propiedades de los objetos. En esta aplicación existen animaciones creadas de ambas formas.

A través de la programación de scripts también es posible configurar los niveles de alarma para la temperatura (alto y bajo). El setpoint de temperatura puede ser modificado desde la pantalla principal, lo que provoca que los valores de alarma también se modifiquen. La alarma de temperatura se activa cuando

ésta sube un grado por sobre el setpoint o baja un grado. Esto genera una alarma de temperatura que se representa con un cambio de luz de verde a roja.

La luz roja comienza a parpadear cuando la temperatura tiene una diferencia de dos grados por sobre o bajo el setpoint. Estas alarmas de temperatura quedan registradas junto con otras alarmas programadas en la ventana *Alarmas* de la HMI. Las otras alarmas programadas son las del controlador (cuando este falla), de la UMA (cuando está apagada), y de las válvulas cuando están cerradas. Cada alarma tiene un grado de prioridad que es observado por el operador en la tabla de alarmas. La alarma de falla de controlador tiene mayor prioridad que una válvula cerrada, o la UMA apagada por ejemplo. La figura 6-3 muestra la ventana de alarmas.

Otra ventana de la HMI es la de *Históricos*. En esta ventana se observa un gráfico en tiempo real de la temperatura (color rojo) y el setpoint (color negro). Además se suma un gráfico de tendencia histórica de la temperatura, que facilita la lectura de esta en un tiempo prolongado de tiempo. La ventana se muestra en la figura 6-4. La ventana de enlaces es un extra creado para simular la incorporación de diferentes procesos a la HMI, como podrían ser la red de sensores de humo o el monitoreo del pozo de radioterapia del hospital.



Figura 6-2. Ventana principal de la HMI.

Como se explicó en los capítulos anteriores las válvulas de agua fría y caliente son controladas por módulos análogos, por lo que se utiliza el módulo de salida análogo del PLC S7-224XP para controlar el voltaje de salida según sea necesario. Al contar el S7-224XP con sólo un módulo de salida análogo se utiliza el PLC 1 para controlar la válvula de agua fría y el PLC 2 para controlar la válvula de agua caliente. La temperatura es medida por ambos PLC por medio de su módulo de entrada análoga. La entrada de temperatura es simulada por medio de una resistencia variable ya que el sensor de temperatura en pabellón funciona de esta manera. Para comprobar la actuación del PLC sobre las válvulas, se mide el voltaje en la salida del controlador, variando ésta de 0 a 10 V ya que éste es el rango en el cual funcionan las válvulas proporcionales de Jonson Controls.

Cada PLC está programado con un algoritmo de control interno para modular las válvulas según varía la temperatura. Básicamente al subir la temperatura sobrepasando el setpoint comienza la apertura de la válvula de agua fría, y viceversa con la válvula de agua caliente. El programa en lenguaje escalera de cada PLC está disponible en el apéndice D.

Desde la pantalla principal de la HMI es posible activar o desactivar el control automático del PLC sobre las válvulas, permitiendo subir o bajar el porcentaje de apertura de cada válvula haciendo clic sobre ellas.

El porcentaje de apertura de las válvulas es proporcional al voltaje entregado a ellas. Si el usuario selecciona un porcentaje de 25% la salida de voltaje será de 2.5 V. El 100% entrega los 10 V a la válvula dejando a ésta completamente abierta. Los 0 V representan un 0% de apertura, es decir la válvula cerrada.

CAPÍTULO 7

EVALUACIÓN ECONÓMICA

7.1 INTRODUCCIÓN

Al ser el Hospital Naval Almirante Nef una institución sanitaria y no una empresa en donde la producción se traduzca en ventas, no se cuenta con retornos económicos con los que se puedan sopesar los gastos que acarrea la compra de maquinaria. Por esta razón el balance económico arroja solamente valores negativos, no pudiéndose calcular índices económicos como la TIR (tasa interna de retorno).

Para evaluar la situación económica del proyecto, es necesario darle un enfoque diferente. Como ya está dicho el proyecto tiene costos que por lo demás son altos, tanto en inversión inicial como también flujos negativos durante los años que dure la implementación del mismo (el tener en funcionamiento los equipos es un gasto, el mantenerlos, etc.).

Para contrarrestar las pérdidas que arroja el proyecto, se deben tomar en cuenta todos los flujos negativos actuales que tiene el hospital por mantener un sistema que está obsoleto y que tiene deficiencias tanto en instalaciones, equipos en mal estado, como también en la mantención de estos.

Además de perder dinero manteniendo equipos que ya debiesen ser renovados, como por ejemplo las válvulas de las manejadoras de aire, el Hospital Naval al igual que otros muchos hospitales, arriesga demandas millonarias por enfermedades producidas o incubadas por no tener sistema de limpieza de aire o las correctas condiciones climáticas en sectores críticos como pabellón.

Entendiendo el punto de vista del análisis económico se calculan los flujos y se llevan a un valor actual neto (VAN). Este flujo que como ya está dicho es

negativo, se compara con los flujos actuales de pérdidas por los conceptos ya explicados.

Si las pérdidas que acarrea el proyecto son menores a las que se producen actualmente en el hospital, se concluye que el proyecto es viable, de lo contrario se evalúa un tiempo de espera entendiéndose que los equipos actuales aún cumplen sus funciones sin problemas y se pospone el cambio para algunos años más.

7.2 INVERSIÓN INICIAL

La inversión inicial corresponde al capital que debe ser desembolsado por el hospital en primera instancia, antes de comenzar el proyecto. Son los gastos más fuertes previos a evaluar los flujos anuales. Las tablas 7-1 y 7-2 detallan los costos de la inversión inicial.

Todos los equipos han sido cotizados en Abmatic, distribuidor oficial de productos Allen-Bradley y Rockwell Automation en Chile.

Los costos de instalación y programación son cotizados por Dacsi, una empresa integradora de productos Allen Bradley y que trabaja en conjunto con Abmatic.

7.3 COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO

El costo es posible entenderlo como el sacrificio o esfuerzo económico que se debe realizar para lograr un objetivo.

Existen costos de tipo operativos, como por ejemplo: pagar los sueldos al personal de producción, comprar materiales, fabricar un producto, administrar la empresa, etc.

Los costos fijos son aquellos costos cuyo importe permanece constante, independiente del nivel de actividad de la empresa.

Tabla 7-1. Inversión inicial del proyecto. Materiales y desarrollos.

Inversión Inicial Red EtherNet/IP H.Naval			
Materiales			
Cant.	Descripción	P.Unitario (US\$)	P.Total (US\$)
330	Metros de cable fibra óptica multimodo.	1,49	491,70
145	Metros de cable Ethernet Leviton.	57,00	817,04
8	Conectores fibra óptica Leviton.	2,52	20,16
3	Automático 1x2Amp 1492-SP1B020 A.Bradley.	15,62	46,86
3	Switch Stratix 8000 modelo 1783 – MS06T.	1200,00	3600,00
3	Cabecera a fibra óptica Pach Panel.	182,23	546,69
20	Protectores de empalme fibra óptica.	67,00	1340,00
9	Jumpers fibra óptica Duplex ST/ST de 3 metros.	20,08	180,72
10	Und. CPU SLC 5/05 1747-L552 Ethernet.	3348,00	33480,00
2	Metros de riel din acanalado.	1,82	3,64
1	Materiales de montaje	1200,00	1200,00
1	RSview32 Works 1500 con RSlinx. Ingles 9301-2SE2303	6190,00	6190,00
1	Convertor 485/232 a Ethernet	414,00	414,00
1	KEP Server EX para PLX Mitsubichi	677,00	677,00
1	Módulo de 4 entradas análogas 1746 – NI4	617,52	617,52
1	Módulo de 4 salidas análogas 1746 – NO4V	910,47	910,47
		Sub Total:	50535,80
Desarrollos			
34	Pantallas de monitoreo	342,00	11648,00
5	Pop Up	171,00	855,00
10	Modificación de programas para implementación de nueva CPU	1026,00	10260,00
2	Configuración de KEP Server	855,00	1710,00
		Sub Total:	24453,00

Tabla 7-2. Detalle de la mano de obra y valor total de la inversión inicial.

Inversión Inicial Red EtherNet/IP H.Naval			
Mano de obra			
Cant.	Descripción	P.Unitario (US\$)	P.Total (US\$)
135	Maestro eléctrico	5,84	788,00
135	Ayudante eléctrico	4,67	630,00
90	Supervisión	7,50	675,00
1	Gastos de operación	5500,00	5500,00
1	Utilidad	7500,00	7500,00
		Sub Total:	15094,00
		Total:	90082,80

7.4 COSTOS DE ADMINISTRACIÓN

Dentro de los costos fijos se encuentran los de administración. Se considera como gasto de administración, todos los costos relacionados con remuneraciones a pagar por parte de la empresa a su personal. El detalle de la cantidad de trabajadores por sección y sus costos mensuales y anuales se muestra en la siguiente tabla.

Como es necesario mantener una vigilancia constante de los sistemas monitoreados en el hospital, se necesitan técnicos de turno durante la 24 horas del día los 7 días de la semana, y dos ingenieros con jornada de trabajo ordinaria de lunes a viernes de 8:00 a 17:00 horas. Los turnos de los técnicos de la CCM (central de control y monitoreo) son los siguientes: turno 1 (8:00 horas – 16:00 horas), turno 2 (16:00 horas – 0:00 horas), turno 3 (0:00 horas – 8:00 horas). La renta mensual para el turno nocturno se incrementa un 30% en relación a los otros dos turnos. No se considera la existencia de horas extras para las remuneraciones.

Tabla 7-3. Costos de administración.

Central de Control y Monitoreo	Costo mensual (US\$)	Costo anual (US\$)
2 Ingenieros, turno 1, lunes a viernes	2828,60	33943,25
2 Técnicos, turnos 1 y 2, 7 días	1414,30	19093,08
2 Técnicos, turno 3, 7 días	1838,60	22063,11
Secretaria, turno 1, lunes a viernes.	530,36	6364,36
Total:	6611,86	81463,80

7.5 COSTOS FIJOS OPERACIONALES

Corresponden a gastos del Hospital relacionados principalmente con el uso de electricidad, agua y teléfono. Para este proyecto no se tomarán en cuenta estos gastos, ya que no influyen en el desarrollo del mismo y el monto en dinero aportado por estos es despreciable.

7.6 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

Como se mencionó anteriormente el análisis se hace en base a que el hospital no produce ni vende elementos. Los índices calculados en este análisis dan cuenta de que el hospital tendrá flujos negativos durante los seis años en los que se proyectó la inversión. Sin embargo un posterior análisis sobre las pérdidas actuales del hospital, debe dar cuenta que la implementación de éste ayudará a reducir las mismas de manera significativa, haciendo rentable un proyecto que en sí acarrea sólo gastos.

7.6.1 VAN

El valor actual neto (VAN) es uno de los criterios económicos más ampliamente usados en la evaluación de proyectos de inversión, que consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo que genera un proyecto y comparar esa equivalencia con el desembolso inicial. Para su cálculo es preciso contar con una tasa de descuento o bien, con un factor de actualización al cual se le descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente.

Una vez aplicada la tasa de descuento, los flujos resultantes que se traen a tiempo cero (presente) se llaman flujos descontados. Con éste método se define la aceptación o rechazo de un proyecto de acuerdo con los siguientes criterios:

- $VAN > 0$, se acepta el proyecto.
- $VAN < 0$, se rechaza el proyecto.
- $VAN=0$, el proyecto es indiferente.

Estos criterios no son los apropiados para este proyecto que tiene un VAN negativo. Por lo tanto el criterio de evaluación será:

- $VAN_{actual} < VAN_{proyecto}$, se acepta el proyecto.
- $VAN_{actual} > VAN_{proyecto}$, se rechaza el proyecto.
- $VAN_{actual} = VAN_{proyecto}$, el proyecto es indiferente.

7.6.2 Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR), es un indicador financiero que mide el rendimiento de los fondos que se pretenden invertir en un proyecto. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial; en la cual se supone que el dinero que se gana periodo a periodo, se reinvierte en su totalidad. De tal manera que se trata de la tasa de retorno generada en el interior de la empresa por medio de la inversión. Es la tasa de interés que hace al VAN = 0. La regla de decisión es aceptar como rentables los proyectos con $TIR > TRMA$ siendo TRMA la tasa de interés previamente definida.

La TIR de este proyecto es negativa, por lo tanto no será un método válido para evaluarlo. Se usará por consiguiente solamente el método del VAN.

La tabla final muestra los flujos de acuerdo a los costos e inversión inicial estipulados en la primera parte de la evaluación. Esta tabla es el parámetro a comparar con el análisis de pérdidas actuales del hospital.

7.7 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS

Los costos anuales asociados al proyecto bordean los 37.000.000 millones de pesos anuales, lo que sin duda es una cantidad importante. Sin embargo los costos en los que incurre hoy el hospital son mucho mayores, al mantener equipos obsoletos en funcionamiento, instrumentalizando procesos de suma importancia con artefactos que actualmente presentan fallas.

Enfocando el análisis solamente en lo que respecta al control y monitoreo de temperatura en los quirófanos, es muy peligroso mantener estos sin la correcta supervisión, climatización y filtrado de aire. Actualmente las demandas a los hospitales por enfermedades intrahospitalarias conllevan el desembolso de millonarias sumas por parte de las instituciones.

Una demanda judicial ganada por el demandante no baja de los 80 millones de pesos en caso de muerte, y en caso de infecciones graves adquiridas en pabellón la suma no es inferior a los 50 millones de pesos.

Estas son unas de las pérdidas cuantificables de manera rápida, y ya se ve que están muy por sobre el gasto anual calculado¹. La tabla 7-4 muestra los resultados de costos a los que se refiere el análisis, con los valores negativos puestos en rojo y los positivos en color negro.

Para poder comparar los costos del proyecto con las actuales pérdidas del hospital, es necesario conocer los gastos en los que incurre éste manteniendo cada mes y cada año un sistema que necesita constantes reparaciones.

Los gastos se han dividido en los ítems más relevantes para el desarrollo del proyecto, y en caso de no invertir en ellos el sistema actual dejaría de funcionar completamente.

Estos gastos son:

- Repuestos : US\$ 30.000
- Baja de equipos : US\$ 25.000
- Servicio técnico externo : US\$ 40.000
- Honorarios : US\$ 6.612
- Pago de horas extras : US\$ 3.000

El pago de honorarios corresponde a la misma cantidad que se calculó para el desarrollo del nuevo proyecto. Los costos de honorarios y horas extras están calculados de manera mensual, no así los demás ítems de gastos cuyas cantidades son anuales.

Con estas cantidades desembolsadas actualmente por el hospital la tabla de costos utilizada para calcular el VAN en caso de no desarrollarse el proyecto de modernización de la red se muestra en la tabla 7-5.

El VAN actual del sistema mantenido por el hospital es de US\$ - 459.981. El costo de mantener éste sistema funcionando por seis años más supera los cuatrocientos cincuenta mil dólares, lo que es una cifra mayor que los US\$ 341.553 que cuesta implementarlo. Además el costo anual en el que incurre el

¹ <http://www.radiobiobio.cl/2010/06/24/presentan-demanda-civil-contra-hospital-van-buren-por-hombre-contagiado-con-bacteria-17-anos-atras/>

hospital con el sistema actual es de US\$ 95.135 los que superan los US\$ 64.843 que cuesta implementarlo.

En resumen:

- VAN del proyecto : US\$ -341.533
- VAN sin el proyecto : US\$ -459.981

Por lo tanto, por el método de análisis económico VAN, es viable implementar el proyecto al observarse un ahorro en dinero importante para la institución.

		Margen Comercialización	0%						
		Costo Unitario \$	0						
Materiales	50.536								
			Gastos Mensuales						
Terreno y Edific.	0		Administrativos 0						
Desarrollos	24.453		Honorarios 6612						
Herramientas	15.094								
			Años						
			0	1	2	3	4	5	6
Ingresos Oper.			0	0	0	0	0	0	0
Costos Oper.			0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta			0	0	0	0	0	0	0
Gastos Adm.			(79.344)	(79.344)	(79.344)	(79.344)	(79.344)	(79.344)	(79.344)
Depreciación			(8.423)	(8.423)	(8.423)	(8.423)	(8.423)	(8.423)	(8.423)
Amort. Act Nom.			(505)	(505)	(505)	(505)	(505)	(505)	(505)
Gastos Financieros			0	0	0	0	0	0	1
Base Imponible			(88.272)	(88.272)	(88.272)	(88.272)	(88.272)	(88.272)	(88.271)
Impuestos (17%)			15.006	15.006	15.006	15.006	15.006	15.006	15.006
Utilidad Despues Impuestos			(73.266)	(73.266)	(73.266)	(73.266)	(73.266)	(73.266)	(73.265)
Depreciación			8.423	8.423	8.423	8.423	8.423	8.423	8.423
Pago Cap Prestado			0	0	0	0	0	0	0
Aporte Cap Trabajo			(79.344)						
Recup Cap Trabajo									79.344
Ahorros/desahorros			0	0	0	0	0	0	0
Préstamo(15% anual)			0						
Flujo Caja Neto			(129.880)	(64.843)	(64.843)	(64.843)	(64.843)	(64.843)	14.502
TIR									
VAN			(341.533)						

Tabla 7-4. Evaluación económica con proyección a seis años.

		Margen Comercialización							
		Costo Unitario \$		0					
Repuestos	30.000		Gastos Mensuales						
			Horas extras	3000					
Terreno y Edific.	0		Honorarios	6612					
Baja de equipos	25.000								
Servicio técnico externo	40.000								
					Años				
			0	1	2	3	4	5	6
Ingresos Oper.			0	0	0	0	0	0	0
Costos Oper.			0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta			0	0	0	0	0	0	0
Gastos Adm.			(115.344)	(115.344)	(115.34)	(115.344)	(115.344)	(115.344)	(115.344)
Depreciación			(5.000)	(5.000)	(5.000)	(5.000)	(5.000)	(5.000)	(5.000)
Amort. Act Nom.			(300)	(300)	(300)	(300)	(300)	(300)	(300)
Gastos Financieros			0	0	0	0	0	0	1
Base Imponible			(120.644)	(120.644)	(120.64)	(120.644)	(120.644)	(120.644)	(120.643)
Impuestos (17%)			20.509	20.509	20.509	20.509	20.509	20.509	20.509
Utilidad Despues Impuestos			(100.135)	(100.135)	(100.13)	(100.135)	(100.135)	(100.135)	(100.134)
Depreciación			5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Pago Cap Prestado			0	0	0	0	0	0	0
Aporte Cap Trabajo			(115.344)						
Recup Cap Trabajo									115.344
Ahorros/desahorros			0	0	0	0	0	0	0
Préstamo(15% anual)			0						
Flujo Caja Neto			(145.344)	(95.135)	(95.135)	(95.135)	(95.135)	(95.135)	20.210
TIR									
VAN			(459.981)						

Tabla 7-5. Evaluación de costos del sistema actual implementado en el Hospital.

CONCLUSIONES

Las redes industriales han evolucionado tanto en la tecnología de los dispositivos, como en los protocolos de comunicación. En todos los aspectos del desarrollo tecnológico se busca estandarizar dispositivos, cableado, conectores y protocolos con el fin de que cada avance en el área se realice siguiendo una misma línea, lo que permita un más rápido desarrollo.

La red de control actual del Hospital Naval Almirante Nef, es un ejemplo del antiguo modo en que se fabricaban e implementaban los dispositivos de control en las redes industriales. Cada empresa desarrollaba sus productos preocupándose únicamente de la compatibilidad entre ellos, sin importar la línea de trabajo seguida por la competencia y sin mirar algún estándar de entidades reguladoras. La IEEE y la Organización de Estándares Internacionales (ISO) se han preocupado de estandarizar una serie de tecnologías entre las cuales se encuentran las de red.

Ethernet es la tecnología de red más utilizada actualmente al ser sus normas estándares abiertas y experimentar un avance tecnológico acelerado. La red industrial Ethernet ha sido capaz de integrar distintos dispositivos y diferentes marcas lo que le da al sistema completo una capacidad de expansión notable. Una vez implementado el proyecto es posible desarrollar nuevas aplicaciones e integrarlas a la red con mucha menos complejidad que en tiempos anteriores.

Además de mejorar la red en cuanto a apertura, también se avanza sustancialmente en lo que respecta a transmisión de datos, ancho de banda y velocidad. Ethernet permite la transmisión de datos a velocidades de entre 10 Mbps a 100 Mbps, superando ampliamente la velocidad de transmisión actual de la red RIO del hospital.

Otro factor importante en el desarrollo de esta nueva red es la descentralización del control, al no depender el sistema de una unidad central como ocurre actualmente, y distribuir los controladores de manera que cada uno

funcione en forma independiente y no altere otras unidades al ocurrir una eventual falla localizada. La estructura de bus de campo lineal permite la transmisión de información de manera más expedita e independiente.

Junto con la modernización de la red en su totalidad, los procesos afectados con este cambio se verán beneficiados al permitir incorporar nuevas variables medidas y expandir el sistema a nuevos procesos como es en éste caso puntual la climatización de los pabellones quirúrgicos.

Se espera además que la tasa de fallos de la red baje considerablemente con la implementación de los switch que segmentarán la red dejando tres dominios de colisión, y que además administran los datos de manera que la red no colapse cuando requiera demasiada información en un instante preciso.

Otro aspecto importante es la seguridad de la red, la que puede ser violada obteniendo acceso remoto al PC de la CCM o directamente a los switches. Sin embargo cada dispositivo de la red puede tener una o más claves de acceso dependiendo del usuario que desee ingresar y del nivel de modificaciones que se quiera realizar, lo que garantiza un funcionamiento de acuerdo a lo programado.

Toda entidad sanitaria gira en torno a sus pacientes, por ésta razón la importancia de la modernización de la red no es puramente tecnológica sino también un aporte a la mejora en la calidad de atención de los usuarios y de las condiciones laborales de médicos y auxiliares. El beneficio de este nuevo sistema se extiende por lo tanto a un gran número de personas lo que no deja de ser un importante factor a considerar a la hora de evaluar el proyecto, no centrándolo simplemente en el análisis numérico que significa una evaluación económica, sino también en una mejora en la calidad de vida de las personas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Página web de Rockwell Automation, para catálogos de equipos.
<http://www.rockwellautomation.com/en/e-tools/configuration.html>.
- [2] Edward G. Pita. Acondicionamiento de aire principios y sistemas. Segunda edición. Mexico, CECSA ediciones. Año 2006.
- [3] Marcelo Vicencio Contreras. Estudio, diseño, construcción y modelación de un sistema prototipo invernadero. Universidad Católica de Valparaíso. Mayo de 2006.
- [4] Página web de Rockwell Automation, para software Integrated Architecture Builder.
<http://www.rockwellautomation.com/solutions/integratedarchitecture/resources3.html>
- [5] Katsuhiko Ogata. Ingeniería de Control Moderna. Prentice Hall. Cuarta edición. Año 2003.

APÉNDICE A

LISTADO DE LAS MANEJADORAS, ESPECIFICACIONES DE LA INSTRUMENTACIÓN Y PLANO DE REFERENCIA

APENDICE A

LISTADO DE LAS MANEJADORAS, ESPECIFICACIONES DE LA INSTRUMENTACION Y PLANO DE REFERENCIA

LISTADO DE LAS MANEJADORAS DE AIRE EN PISO MECANICO

Nº de Manejadora	Sist. De Control	Departamento
G -21 – 49	Automático (PLC)	Pab. Aséptico N°1
G -21 – 50	Automático (PLC)	Pab. Aséptico N°2
G -21 – 51	Automático (PLC)	Pab. Recuperación
G -21 – 52	Manual	Serv. De Pabellones
G -21 – 53	Automático (PLC)	Pab. Quirúrgico Nª 3
G -21 – 54	Automático (PLC)	Pab. Quirúrgico Nª 2
G -21 -16	Automático (PLC)	Pab. Quirúrgico Nª 1
G -21 -17	Manual	Scanner
G -21 -18	Automático (PLC)	Pab. Quirúrgico N° 4
G -21 -19	Automático (PLC)	Pab. Quirúrgico N° 5
G -21 -20	Automático (PLC)	Pab. Traumatología
G -21 -22	Automático (PLC)	Pab. Cardiovascular
G -21 -23	Manual	HALL Pabellón
G -21 -24	Manual	Urología
G -21 -25	Manual	Pab. N° 5 Cirug. Menor
G -21 -26	Automático (PLC)	Pab. Cardiovascular
G -21 -27	Manual	Pab. N° 4 Maxilofacial
G -21 -28	Manual	Polifractura
G -21 -29	Automático (PLC)	UCI Cardiovascular
G -21 -30	Automático (PLC)	UCI General
G -21 -31	Automático (PLC)	Observación y Reposo
G -21 -21	Manual	Electrocardiograma
G -21 -48	Automático (PLC)	Angiografía
G -21 -47	Manual	Contorno UCI
G -21 -46	Manual	Pab. N° 2 Cirug. Menor
G -21 -45	Manual	Endoscopia
G -21 -44	Manual	Contorno Hemodinámia
G -21 -43	Automático (PLC)	Hemodinámia
G -21 -42	Manual	Rayos
G -21 -41	Manual	Medicina Nuclear
G -21 -40	Automático (PLC)	Neonatología
G -21 -38	Automático (PLC)	Sala de Partos N° 1
G -21 -37	Automático (PLC)	Sala de Partos N° 2
G -21 -36	Automático (PLC)	Sala de Partos N° 3
G -21 -35	Automático (PLC)	Diálisis
G -21 -34	Manual	Pasillo acceso a comp.

ESPECIFICACIONES DEL TRANSDUCTOR DE TEMPERATURA RS 140 DE JOHNSON CONTROLS

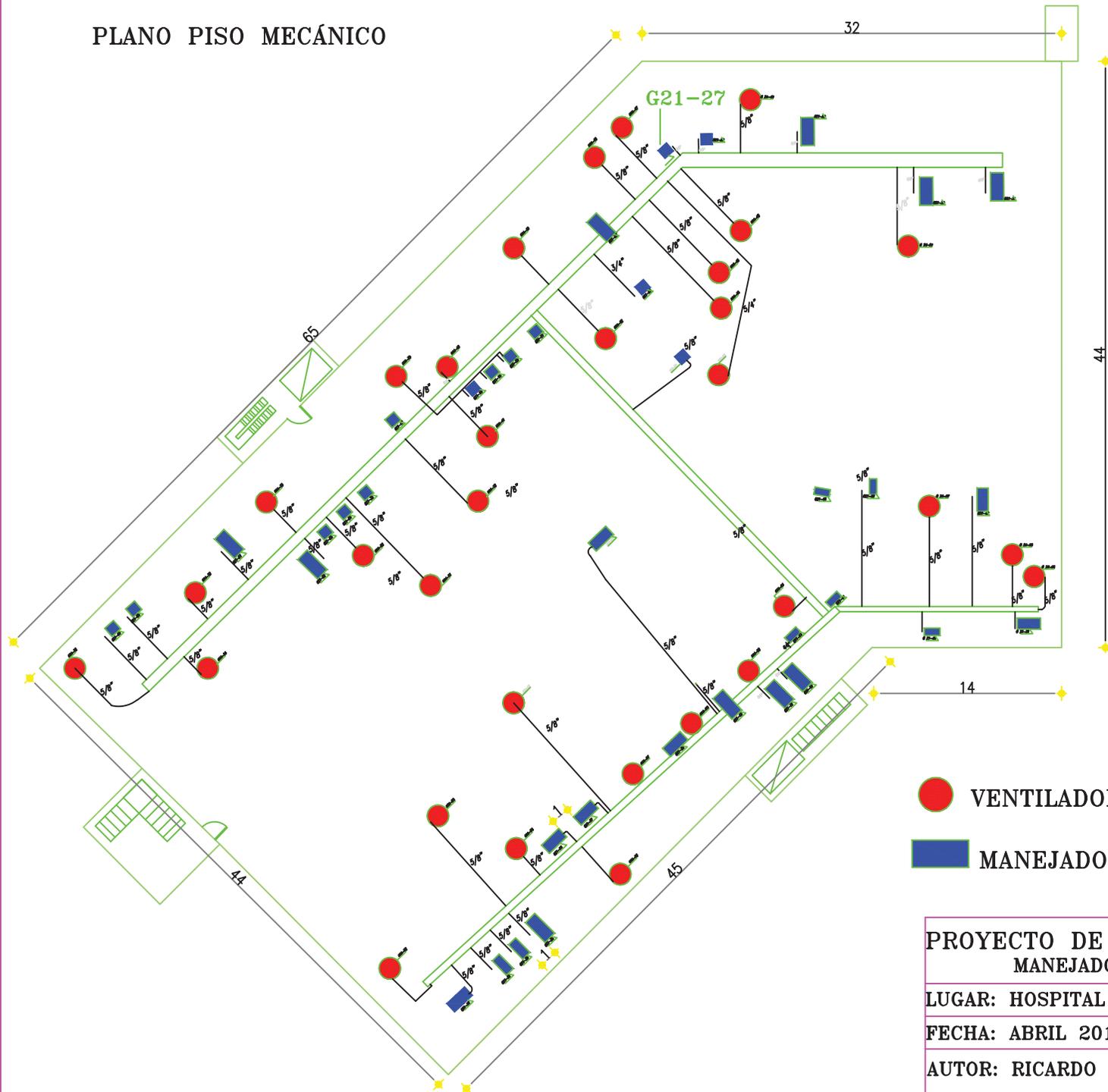
Sensing Element	Pt1000 class B, EN 60751	
Supply Voltage	15 Vdc \pm 5 %	
Power Consumption	7 mA, no load 9.5 mA, max load	
Output signal for temp.	Active 0...10 V DC linear 0 V \equiv 0°C 10 V \equiv 40°C	
Output load	min. 5 k Ω , max. 2mA	
Accuracy	1.2 % from 10 to 30°C 3.5 % from 0 to 10°C and 30 to 40°C	
Set Point Adjustment	limited 0...10 V signal linear (actual range 3 to 7 V)	
Mode Selector	momentary contact switch (5 V at 1 mA)	
Mode Indicator	green LED (5 V, 4 mA)	
Terminations	Screw terminal box mounted on base for 1 x 1,5 mm ² / 14 AWG (maximum) cable	
Mounting	Direct surface mounting. See in addition the mounting kit for surface	
Materials	Enclosure	ABS+PC; self extinguishing UL 94 HB
	Base	
	Occupancy Override Button	
	Setpoint Dial	
Colors	Enclosure	RAL9016 (GE86280)
	Base	
	Occupancy Override Button	
	Setpoint Dial	
Protection Class	Enclosure	IP30 (EN 60529)
Dimension (H x W x D)	RS-1140-0000	80 mm x 80 mm x 32 mm
	RS-1160-000x	80 mm x 80 mm x 35 mm
	RS-1190-000x	
Shipping Weight	0,15 kg	
CE Conformity	EMC Directive 89 / 336 EU	EN-61000-6-3
		EN-61000-6-2

ESPECIFICACIONES DE LA VALVULA PROPORCIONAL VA – 7152 1001 DE JOHNSON CONTROLS

Product	VA-7150:	Three wire incremental
	VA-7153:	Three wire incremental with position feedback
	VA-7152:	Proportional, 0 to 10 VDC
Power Requirements	24 VAC (20 to 30 VAC), 50/60 Hz	
	VA-7150:	2.7 VA nominal
	VA-7153:	2.7 VA nominal
	VA-7152:	4.7 VA nominal
Input Signal	Incremental:	24 VAC, 50/60 Hz
	Proportional:	0 to 10 VDC
Input Signal Adjustments (Proportional)	Input Signal:	0 to 10, 0 to 5, 5 to 10 VDC (jumper selectable)
	Action:	Drive up (DA) or drive down (RA) on signal increase (jumper selectable)
	Factory Setting:	Calibrated 1 to 9 \pm 0.5 VDC for 0 to 10 VDC controller operation, Direct Acting (DA), 5/16 in. (8 mm) stroke for VT series valve
Input Impedance (Proportional)	100k ohms	
Feedback Signal	VA-7153:	0 to 2000 ohms \pm 20% for 25/32 in. (20 mm) stroke, 1/4 watt
Mechanical Output	90 lb force (400N) minimum	
Stroke Range	25/32 in. (20 mm) maximum	

Nominal Stroke Timing	60 Hz:	70 seconds 5/16 in. (8 mm) stroke 110 seconds 1/2 in. (13 mm) stroke 165 seconds 3/4 in. (19 mm) stroke
	50 Hz:	85 seconds 5/16 in. (8 mm) stroke 135 seconds 1/2 in. (13 mm) stroke 200 seconds 3/4 in. (19 mm) stroke
Electrical Connections	Screw Terminals:	VA-7150: 24 to 14 AWG VA-7153: 24 to 16 AWG VA-7152: 24 to 16 AWG
Mechanical Connections	1/4-28 UNF-2B thread for valve stem connection	
Enclosure	NEMA 1, IP40	
Ambient Operating Conditions	0 to 140°F (-18 to 60°C), 10 to 90% RH, non-condensing, 86°F (30°C) maximum dew point	
Ambient Storage Conditions	-4 to 150°F (-20 to 65°C), 5 to 95% RH, non-condensing, 86°F (30°C) maximum dew point	
Dimensions	3.84 in. diameter x 6.06 in. high (98 x 154 mm)	
Shipping Weight	1.7 lb (0.77 kg)	
Agency Compliance	UL 873 Listed, File E27734, Guide XAPX, for Class 2 operation, plenum rated CSA C22.2 No. 139 Certified, File LR85083, Class 3221 01, for Class 2 operation CE Directive 89/336/EEC	

PLANO PISO MECÁNICO

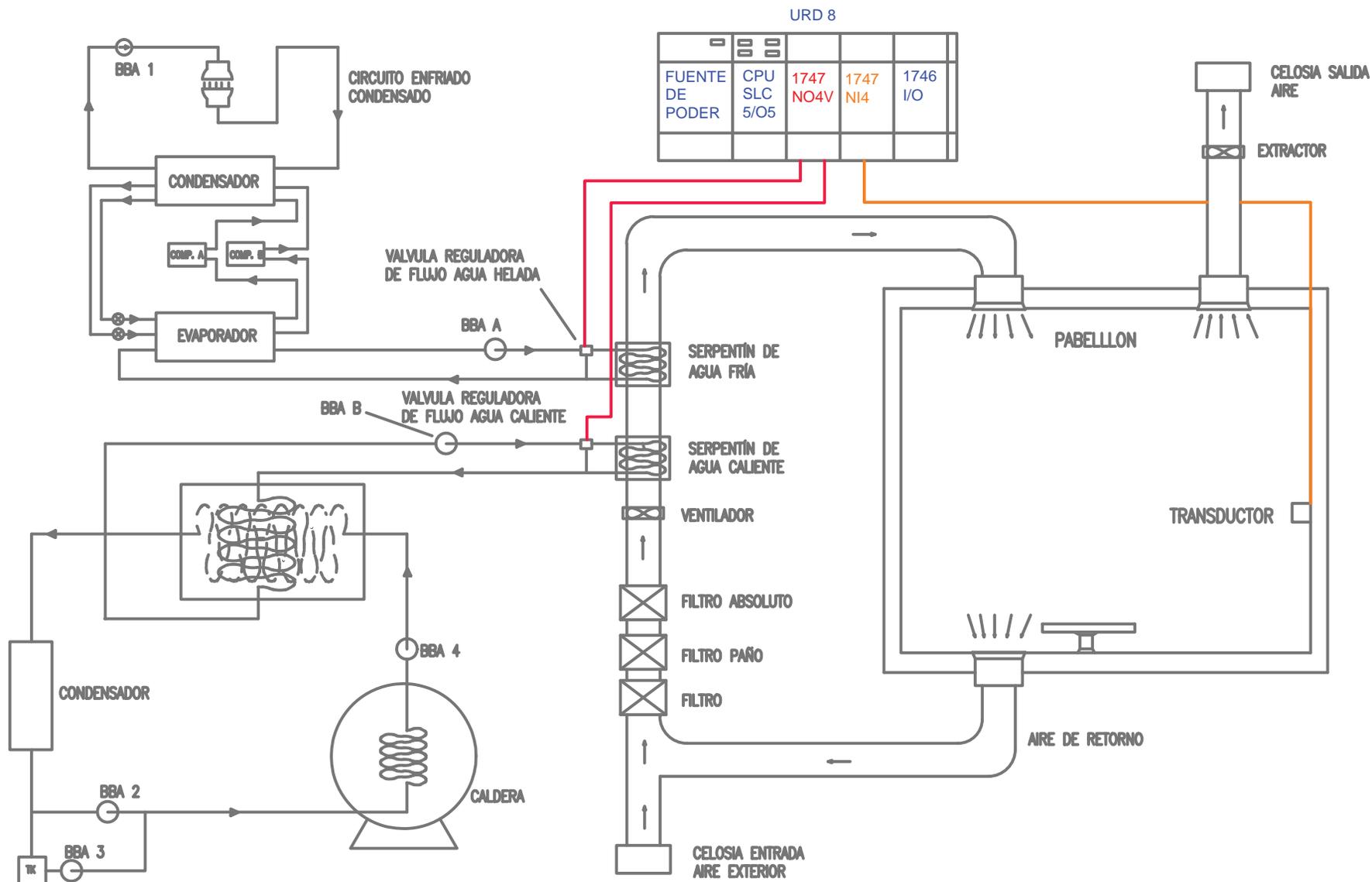


-  VENTILADOR DE EXTRACTOR
-  MANEJADORA DE AIRE

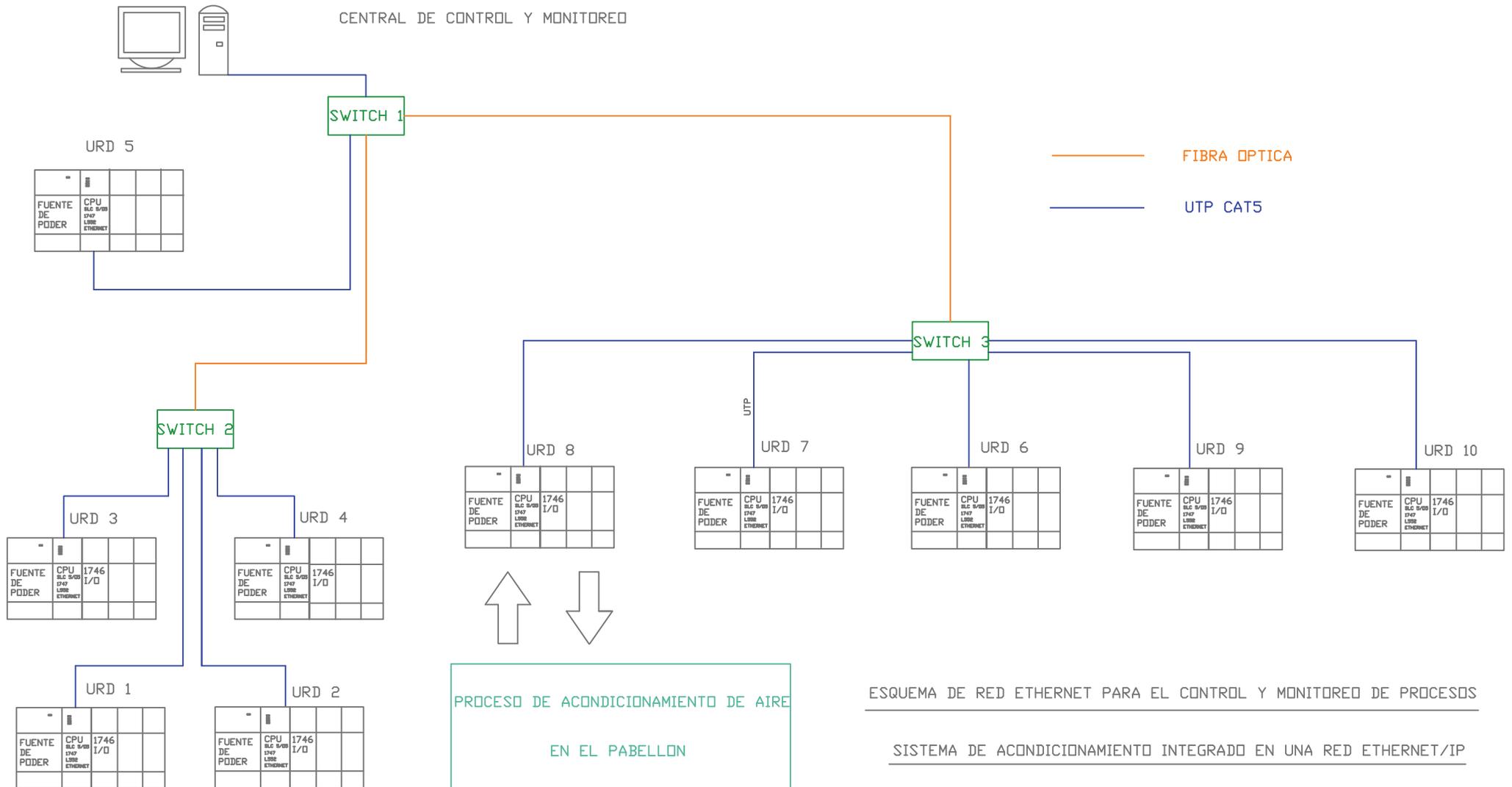
PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN MANEJADORES DE AIRE
LUGAR: HOSPITAL NAVAL ALTE NEF
FECHA: ABRIL 2018
AUTOR: RICARDO ZURITA PEREIRA

APÉNDICE B

PLANOS ESQUEMÁTICOS DE LAS DISTINTAS REDES



INTEGRACIÓN DEL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE A LA RED ETHERNET/IP



-	■			
FUENTE DE PODER	CPU S/C 5/100 1747	1746 I/O		
	LINE ETHERNET			

-	■			
FUENTE DE PODER	CPU S/C 5/100 1747	1746 I/O		
	LINE ETHERNET			

-	■			
FUENTE DE PODER	CPU S/C 5/100 1747	1746 I/O		
	LINE ETHERNET			

-	■			
FUENTE DE PODER	CPU S/C 5/100 1747	1746 I/O		
	LINE ETHERNET			

-	■			
FUENTE DE PODER	CPU S/C 5/100 1747	1746 I/O		
	LINE ETHERNET			

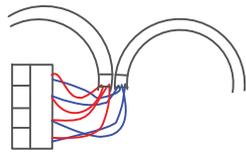
-	■			
FUENTE DE PODER	CPU S/C 5/100 1747	1746 I/O		
	LINE ETHERNET			

-	■			
FUENTE DE PODER	CPU S/C 5/100 1747	1746 I/O		
	LINE ETHERNET			

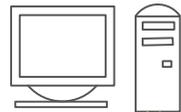
-	■			
FUENTE DE PODER	CPU S/C 5/100 1747	1746 I/O		
	LINE ETHERNET			

-	■			
FUENTE DE PODER	CPU S/C 5/100 1747	1746 I/O		
	LINE ETHERNET			

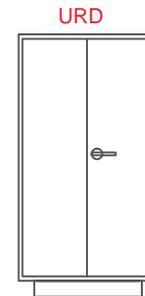
-	■			
FUENTE DE PODER	CPU S/C 5/100 1747	1746 I/O		
	LINE ETHERNET			



CABLE DE COMUNICACION
BELDEN#9486 (MAX. DISTANCIA
1219m)



ESTACIÓN DE OPERACIÓN
Compaq modelo Deskpro Ep.
en Red RIO(REMOTE I/O).
comunicación por medio la CPU 5/03 y
dos tarjetas SN(Scanner) 1747-SN
ubicadas en la URD 5 (maestra).



Estas unidades permiten, en forma sectorial
efectuar:

- Alarmas de incendio.
- Accionamiento manuales de alarmas de incendio.
- Alarmas visuales y sonoras de incendio.
- Sensar límites de presión atmosférica en las salas de tratamientos especiales.
- Control de partida y detención de Unidades Manejadoras de Aire (UMA).

MONITOREO
POZO
RADIOTERAPIA
PLC SAMSUNG
SPC-10 ADR

CONVERSOR
RS-232/ARS-485

RS-232

URD 1

-					
FUENTE DE PODER	CPU SLC 5/01	1747 DCM Módulo de Comunicación Directa	1746 I/O		

URD 2

-					
FUENTE DE PODER	CPU SLC 5/01	1747 DCM Módulo de Comunicación Directa	1746 I/O		

URD 3

-					
FUENTE DE PODER	CPU SLC 5/01	1747 DCM Módulo de Comunicación Directa	1746 I/O		

URD 4

-					
FUENTE DE PODER	CPU SLC 5/01	1747 DCM Módulo de Comunicación Directa	1746 I/O		

URD 5 PUERTOS
DH-485
RS-232

-					
FUENTE DE PODER	CPU SLC 5/03	1747-SN SCAN	1746 I/O	1747-SN SCAN	

URD 10

-					
FUENTE DE PODER	CPU SLC 5/01	1747 DCM Módulo de Comunicación Directa	1746 I/O		

URD 9

-					
FUENTE DE PODER	CPU SLC 5/01	1747 DCM Módulo de Comunicación Directa	1746 I/O		

URD 8

-					
FUENTE DE PODER	CPU SLC 5/01	1747 DCM Módulo de Comunicación Directa	1746 I/O		

URD 7

-					
FUENTE DE PODER	CPU SLC 5/01	1747 DCM Módulo de Comunicación Directa	1746 I/O		

URD 6

-					
FUENTE DE PODER	CPU SLC 5/03	1747 DCM Módulo de Comunicación Directa	1746 I/O		

RS-232

RS-485

RED RIO EXISTENTE, CABLE BELDEN

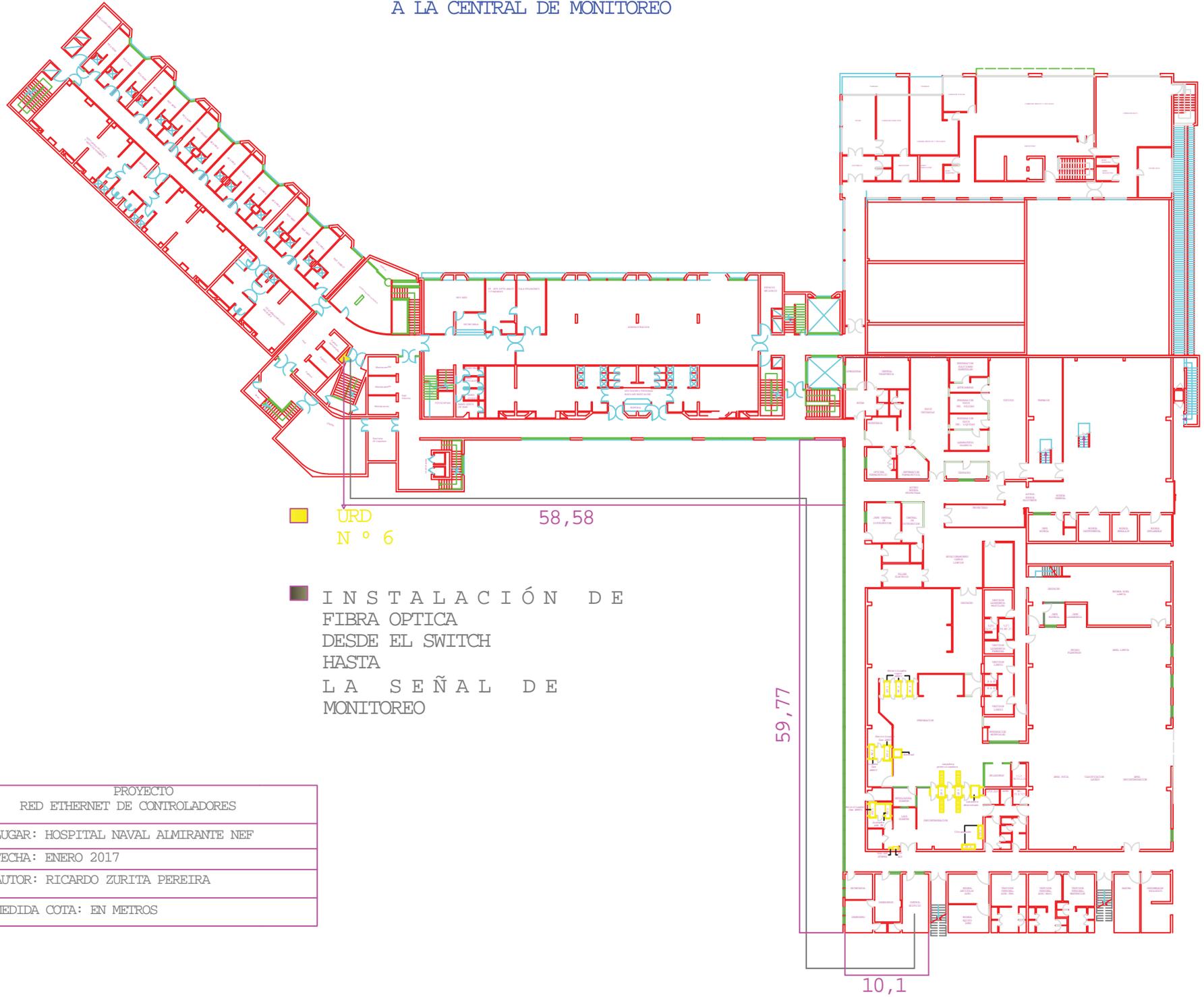
RED RS-232 COMUNICACION ENTRE
PLC MAESTRO Y PC

LA URD-5 TIENE INSTALADO UNA CPU 5/03 Y DOS MODULOS SCANNER 1747-SN QUE REALIZAN SCANNER, UNO DESDE LA URD-1 HASTA LA URD-4, Y EL OTRO DESDE LA URD-6 HASTA LA URD-10

HOSPITAL NAVAL ALMIRANTE NEF
PROYECTO IMPLEMENTACION DE RED
ETHERNET/IP

ENERO/2017

UBICACIÓN DE LA URD 6 CON RESPECTO
A LA CENTRAL DE MONITOREO



PROYECTO RED ETHERNET DE CONTROLADORES
LUGAR: HOSPITAL NAVAL ALMIRANTE NEF
FECHA: ENERO 2017
AUTOR: RICARDO ZURITA PEREIRA
MEDIDA COTA: EN METROS

APÉNDICE C

CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS SLC 500

APÉNDICE C

CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS SLC 500

MÓDULOS ACTUALMENTE EN USO

Módulo de entrada Input DC-Source, modelo 1746-IV16.

Módulos de entrada surtidor de CC

Especificaciones	1746-IG16	1746-IV8	1746-IV16
Número de entradas	16	8	16
Puntos por común	16	8	16
Categoría de voltaje	5 VCC	24 VCC	24 VCC
Rango de voltaje de operación	de 4.5 a 5.5 VCC*	de 10 a 30 VCC	
Corriente del backplane (mA) a 5 V	140 mA	50 mA	85 mA
Corriente del backplane (mA) a 24 V	0 mA	0 mA	0 mA
Entrada de voltaje en estado desactivado, máx.	de 2 a 5.5 VCC	5.0 VCC	5.0 VCC
Corriente nominal de entrada	3.7 mA a 5 VCC	8 mA a 24 VCC	
Entrada de corriente en estado desactivado, máx.	4.1 mA	1 mA	
Retardo de activación de señal, máx.	0.25 ms	8 ms	
Retardo de desactivación de señal, máx.	0.50 ms	8 ms	

Módulo de salida Output DC – Sink, modelo 1746-OV16.

Módulos de salida drenador de CC

Especificaciones	1746-OG16	1746-OV8	1746-OV16	1746-OV32
Número de salidas	16	8	16	32
Puntos por común	16	8	16	16
Categoría de voltaje	5 VCC	24 VCC		
Rango de voltaje de operación	de 4.5 a 5.5 VCC*	de 10 a 50 VCC		de 5 a 50 VCC
Corriente del backplane (mA) a 5 V	180 mA	135 mA	270 mA	190 mA
Corriente del backplane (mA) a 24 V	0 mA	0 mA	0 mA	0 mA
Caída de voltaje, salida en estado activado, máx.	—	1.2 V a 1.0 A	1.2 V a 0.5 A	1.2 V a 0.5 A
Corriente de carga, mín.	0.15 mA	1 mA	1 mA	1 mA
Corriente de fuga, salida en estado desactivado, máx.	0.1 mA	1 mA	1 mA	1 mA
Retardo de activación de señal, máx. (carga resistiva)	0.25 ms	0.1 ms	0.1 ms	0.1 ms
Retardo de desactivación de señal, máx. (carga resistiva)	0.50 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms
Corriente continua por módulo	N/A	8.0 A a 30 °C (86 °F) 4.0 A a 60 °C (140 °F)		8.0 A a 0-60 °C (32-140 °F)
Corriente continua por punto	24 mA	1.0 A a 30 °C (86 °F) 0.5 A a 60 °C (140 °F)	0.50 A a 30 °C (86 °F) 0.25 A a 60 °C (140 °F)	
Corriente de sobretensión por punto para 10 ms	N/A	3.0 A		1.0 A a 30 °C (86 °F) 1.0 A a 60 °C (140 °F)

Módulo de salida Output Relay, modelo 1746 – OW16.

Módulos de salida de relé

Especificaciones	1746-OW4	1746-OW8	1746-OW16
Número de salidas	4	8	16
Puntos por común	4	4	8
Categoría de voltaje	Relé de CA/CC		
Rango de voltaje de operación	de 5 a 125 VCC de 5 a 265 VCA		
Corriente del backplane (mA) a 5 V	45 mA	85 mA	170 mA
Corriente del backplane (mA) a 24 V	45 mA	90 mA	180 mA
Corriente de carga, mín.	10 mA a 5 VCC		
Corriente de fuga, salida en estado desactivado, máx.	0 mA	0 mA	0 mA
Retardo de activación de señal, máx. (carga resistiva)	10 ms	10 ms	10 ms
Retardo de desactivación de señal, máx. (carga resistiva)	10 ms	10 ms	10 ms
Corriente continua por punto	Véanse las clasificaciones de contactos de relé		
Corriente continua por módulo	8.0 A CA 8.0 A/común	16.0 A CA 8.0 A/común	

Clasificaciones de contactos de relé

N° de cat.	Volts máximos		Amperes *		Amperes‡ Continuos	Volt-amperes	
			Cierre	Apertura		Cierre	Apertura
1746-OW4 1746-OW8 1746-OW16	CA	240 VCA	7.5 A	0.75 A	2.5 A	1800 VA	180 VA
		120 VCA	15 A	1.5 A			
	CC	125 VCC	0.22 A †		1.0 A	28 VA	
		24 VCC	1.2 A †		2.0 A		
1746-OW8	CA	240 VCA	15 A	1.5 A	5.0 A	3600 VA	360 VA
		120 VCA	30 A	3.0 A			
	CC	125 VCC	0.22 A †		1.0 A	28 VA	
		24 VCC	1.2 A †		2.0 A		

MÓDULOS NECESARIOS PARA MEDIR LA TEMPERATURA Y ACTUAR SOBRE LAS VÁLVULAS

Módulo de entrada analógica 1746-NI4, escogido para la lectura de la temperatura en la sala de operaciones.

Especificaciones de entrada generales para módulos de 4 canales

N° de cat.	1746-NI4	1746-NIO4I	1746-NIO4V
Corriente del backplane (mA) a 5 V	25 mA	55 mA	55 mA
Corriente del backplane (mA) a 24 V	85 mA	145 mA	115 mA
Número de entradas	4	2	2
Aislamiento del backplane	Resistencia de 500 VCA y 710 VCC durante 1 minuto		
Respuesta de paso a paso	60 ms		
Método de conversión	modulación sigma-delta		
Resolución del convertidor	16 bits		
Tiempo de conversión	N/A		
Retardo del rendimiento efectivo del módulo	512 μ s (nominal)		

Especificaciones de entrada de voltaje para módulos de 4 canales

Nº de cat.	1746-NI4	1746-NIO4I	1746-NIO4V
Escala total	10 VCC	10 VCC	10 VCC
Rango de entrada	±10 VCC -1 bit menos significativo		
Impedancia de entrada	1 MΩ		
Protección contra sobrevoltaje (entrada+ a -entrada)	RMS de 220 VCC o CA de manera continua		
Resolución	305.176 μV por bit menos significativo		
Codificación de entrada de voltaje	de -32,768 a 32,767 para +10 VCC		
Precisión general a 25 °C (77 °F)	±0.284% de la escala total		
Precisión general, de 0 a 60 °C (de 32 a 140 °F)	±0.504% de la escala total		
Deriva de la precisión general (máxima)	+63 ppm/°C de la escala total (máximo)		
Error de ganancia a 25 °C (77 °F)	+0.263% (máximo)		
Error de ganancia, de 0 a 60 °C (de 32 a 140 °F)	+0.461% (máximo)		
Deriva del error de ganancia	±57 ppm/°C		

Módulo de salida de voltaje analógica 1746-NO4V, elegido para la actuación del controlador sobre las válvulas moduladoras de agua fría y caliente.

Especificaciones de salida para los módulos de 4 canales

Nº de cat.	1746-FIO4I	1746-NIO4I	1746-NO4I	1746-FIO4V	1746-NIO4V	1746-NO4V
Número de salidas	2	2	4	2	2	4
Corriente del backplane (mA) a 5 V	55 mA	55 mA	55 mA	55 mA	55 mA	55 mA
Corriente del backplane (mA) a 24 V	150 mA	145 mA	195 mA*	120 mA	115 mA	145 mA
Voltaje de aislamiento	Resistencia de 500 VCA y 710 VCC durante 1 minuto					
Escala total	21 mA			10 VCC		
Rango de salida (normal)	de 0 a 20 mA -1 bit menos significativo			±10 VCC -1 bit menos significativo		
Codificación de la salida	de 0 a 32,764 para 0-21 mA			de -32,768 a 32,764 para ±10 VCC		
Resolución de salida (por bit menos significativo)	2.56348 μA			1.22070 mV		
Resolución del convertidor	14 bits			14 bits		
Método de conversión	Escalera R-2R			Escalera R-2R		
Respuesta de paso a paso	2.5 ms (de 5 a 95%)			2.5 ms (normal)		
Rango de carga	de 0 a 500 Ω			de 1K a ∞ Ω		
Corriente de carga (máxima)	N/A			10 mA		
Capacidad fuera de rango	5% (de 0 a 21 mA -1 bit menos significativo)			N/A		
Precisión general a 25 °C (77 °F)	±0.298% de la escala total			±0.208% de la escala total		
Precisión general, de 0 a 60 °C (de 32 a 140 °F)	±0.541% de la escala total			±0.384% de la escala total		
Deriva de la precisión general (máxima)	±70 ppm/°C de la escala total			±54 ppm/°C de la escala total		
Error de ganancia a 25 °C (77 °F)	±298% de la escala total			±208% de la escala total		
Error de ganancia, de 0 a 60 °C (de 32 a 140 °F)	±516% de la escala total			±374% de la escala total		
Deriva del error de ganancia (máxima)	±62 ppm/°C de la escala total			±47 ppm/°C de la escala total		

Según los requerimientos de la red para implementar tecnología ethernet el módulo de CPU electo es el SLC 5/05, y para la red DH+ el 5/04. Las especificaciones técnicas de ambos controladores y su conjunto de instrucciones de programación se exponen en las siguientes tablas.

Especificaciones de los controladores modulares SLC 500

Especificación	SLC 5/01		SLC 5/02	SLC 5/03		SLC 5/04			SLC 5/05 ‡		
Nº de cat. 1747-	L511	L514	L524	L531	L532	L541	L542	L543	L551	L552	L553
Tamaño de la memoria (palabras)	1 K	4 K	4 K	8 K	16 K	16 K	32 K	64 K	16 K	32 K	64 K
Corriente del backplane (mA) a 5 V	350 mA			500 mA		1000 mA			1000 mA		
Corriente del backplane (mA) a 24 V	105 mA			175 mA		200 mA*			200 mA		
E/S digitales, máx.	7880		8192								
Nº máx. de ranuras del chasis local	3/30										
Comunicaciones incorporadas	Esclavo DH-485		DH-485	DH-485 y RS-232		DH+ y RS-232			Ethernet y RS-232		
Módulo de memoria opcional	EEPROM			EEPROM flash							
Programación	RSLogix 500										
Instrucciones de programación	52		71	107							
Tiempo típico de escán *	8 ms/K		4.8 ms/K	1 ms/K		0.9 ms/K					
Tiempo de retención del escán del programa tras una pérdida de alimentación eléctrica	de 20 ms a 3 s (según sea la carga de la fuente de alimentación eléctrica)										
Ejecución de bits (XIC)	4 µs		2.4 µs	0.44 µs		0.37 µs					
Precisión del reloj/calendario	N/A			±54 segundos/mes a +25 °C (+77 °F)		±81 segundos/mes a +60 °C (+140 °F)					

Conjunto de instrucciones de programación de SLC

Funcional Grupo	Descripción	Instrucciones	SLC 5/01	SLC 5/02	SLC 5/03	SLC 5/04	SLC 5/05
Bit	monitorea y controla el estado de los bits	XIC, XIO, OTE, OTL, OTU, OSR	✓	✓	✓	✓	✓
Temporizador y contador	controla operaciones basado en la hora o número de eventos	TON, TOF, TU, CTD, RTO, RES, RHC, TDF	✓	✓	✓	✓	✓
Comparar	compara los valores usando una expresión o instrucción de comparación específica	EQU, NEQ, LES, LEQ, GRT, GEQ, MEQ LIM	✓	✓	✓	✓	✓
Calcular	evalúa las operaciones aritméticas utilizando una expresión o instrucción aritmética específica	ADD, SUB, MUL, DIV, DDV, CLR, NEG SQR, SCL SCP, ABS, CPT, SWP, ASN, ACS, ATN, COS, LN, LOG, SIN, TAN, XPY, RMP	✓	✓	✓	✓	✓
Lógicas	realiza operaciones lógicas en bits	AND, OR, XOR, NOT	✓	✓	✓	✓	✓
Conversión	realiza la conversión entre los valores enteros y decimales y valores en radianes y en grados	TOD, FRD, DCD DEG, RAD, ENC	✓	✓	✓	✓	✓
Mover	mueve y modifica bits	MOV, MVM	✓	✓	✓	✓	✓
Archivo	realiza operaciones de datos de archivos	COR, FLL, BSL, BSR FFL, FFU, LFL, LFU, FBC, DDT	✓	✓	✓	✓	✓
Secuenciador	monitorea operaciones consecuentes y repetibles	SQO, SQC SQL	✓	✓	✓	✓	✓
Control de programa	cambia el flujo de la ejecución del programa de lógica de escalera	JMP, LBL, JSR, SBR, RET, MCR, TND, SUS, LIM, IOM, END REF	✓	✓	✓	✓	✓
Interrupción de usuario	interrumpe su programa en función de eventos definidos	STD, STE, STS, IID, IIE, RPI, INT		✓	✓	✓	✓
Control de proceso	control de lazo cerrado	PID		✓	✓	✓	✓
Comunicaciones	lee o escribe datos en otra estación	MSG, SVC, BTR, BTW		✓	✓	✓	✓
ASCII	lee, escribe, compara, convierte cadenas ASCII	ABL, ACB, ACI, ACL, ACN, AEX, AHL, AIC, ARD, ARL, ASC, ASR, AWA, AWT			✓	✓	✓

Especificaciones de las fuentes de poder utilizadas actualmente. La instalada en todas las URDS es la fuente modelo 1746 – P3.

Números de catálogo y especificaciones de las fuentes de alimentación eléctrica

Nº de cat.	Voltaje de línea	Capacidad de corriente (Amps) a 5 V	Capacidad de corriente (Amps) a 24 V	Capacidad de corriente del usuario	Corriente de entrada al momento del arranque, máx.
1746-P1	85-132/170-265 VCA, de 47 a 63 Hz	2 A	0.46 A	0.2 mA a 24 VCC	20 A
1746-P2	85-132/170-265 VCA, de 47 a 63 Hz	5 A	0.96 A	0.2 mA a 24 VCC	20 A
1746-P3	de 19.2 a 28.8 VCC	3.6 A	0.87 A	—	20 A
1746-P4	85-32/170-250 VCA, de 47 a 63 Hz	10 A	2.88 A*	1 A a 24 VCC*	45 A
1746-P5	de 90 a 146 VCC	5 A	0.96 A	0.2 mA a 24 VCC	20 A
1746-P6	de 30 a 60 VCC	5 A	0.96 A	0.2 mA a 24 VCC	20 A
1746-P7	de 10 a 30 VCC, aislado	Entrada de 12 VCC: 2 A Entrada de 24 VCC: 3.6 A	Entrada de 12 VCC: 0.46 A Entrada de 24 VCC: 0.87 A	—	20 A

Especificaciones generales de la fuente de alimentación eléctrica 1746-Px

Especificación	Descripción
Temperatura de funcionamiento	de 0 a 60 °C (de 32 a 140 °F) (Capacidad de corriente reducida en un 5% por encima de los 55 °C para P1, P2, P3, P5, P6 y P7, sin reducción para P4)
Humedad relativa	de 5 a 95% sin condensación
Cableado	#14 AWG (2 mm ²)

APÉNDICE D

CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN

APÉNDICE D

CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN

Programa en código C del PIC para la adquisición de datos de temperatura, usando compilador MikroC.

```

/*
 * Nombre del proyecto:
 *   Medición de temperatura
 * Test configuration:
 *   MCU:          PIC16F877A
 *   Dev.Board:    PIC - MT - USB
 *   Oscillator:   HS, 08.0000 MHz
 *   Ext. Modules: LCD
 *   SW:          mikroC v6.0
 */

#include"built_in.h"

unsigned char ch;
unsigned int t;
char a[17], *tc;
long tlong;

void main() {
USART_Init(9600); // Inicia USART (9600 baud rate, 1 stop bit, ...

    INTCON = 0;           // deshabilita las interrupciones
    Lcd_Custom_Config(&PORTD,7,6,5,4,&PORTD,0,1,2);
    Lcd_Custom_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
    LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
    LCD_Init(&PORTD);     // inicia interface de conexión de 4bit con LCD

    tc = "Medición ";    // asigna un texto
    LCD_Custom_Out(1,1,tc); // imprime el texto en la primera línea
    tc = "Temperatura";
    LCD_Custom_Out(2,1,tc);

    OPTION_REG = 0x80;
    ADCON1 = 0x82; // configura VDD como Vref, y canales análogos
    TRISA = 0xFF; // puerto A es entrada
    TRISC = 0;
    TRISD = 0;
    Delay_ms(2000);
    LCD_Custom_Cmd(LCD_CLEAR);
    tc = "Temperatura:"; //
    while (1) {
        t = ADC_read(2); // toma el valor del ADC del 2º canal
    }
}

```

```

LCD_Custom_Out(1,1,tc);

delay_ms(1000);
USART_Write(t);

tlong = t * 5000;
asm {
    MOVF STACK_2,W
    MOVWF _tlong+2
    MOVF STACK_3,W
    MOVWF _tlong+3
}
t = tlong >> 10;

ch = t / 1000;
LCD_Custom_Chr(2,1,48+ch);
LCD_Custom_Chr_CP('.');

ch = (t / 100) % 10;
LCD_Custom_Chr_CP(48+ch);

ch = (t / 10) % 10;
LCD_Custom_Chr_CP(48+ch);

ch = t % 10;
LCD_Custom_Chr_CP(48+ch);
LCD_Custom_Chr_CP('C');

Delay_ms(1);
if(PORTB.F5 == 0) // control del backlight
{
    PORTB.F2 = 1;
    delay_ms(150);
    PORTB.F2 = 0;
    PORTD.F3 ^= 1;
}
}
}

```

Código del programa en Visual Basic para guardar el registro de temperatura enviado por el PIC en un archivo de texto.

Option Explicit ' obliga a declarar las variables

Private Sub cmdConectar_Click()

' Este procedimiento se ejecuta al presionar el botón "Conectar"

```
Static Rx() As Byte          ' bytes recibidos en la puerta serial
Static ND As Long           ' número de datos recibidos
Static X As Long, Y As Single ' coordenadas para el gráfico
Static Ya As Single         ' coordenada Y anterior (para interpolar puntos)
Static Xmax As Long, Ymax As Single ' límites del gráfico (píxeles)
Static Ti As Single         ' instante de inicio, para medir Fs (tasa de muestreo)
```

' Configura y abre la puerta RS232

```
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1" ' parámetros RS232C
MSComm1.InputLen = 1             ' leer 1 caracter a la vez
MSComm1.InputMode = comInputModeBinary ' modo binario
MSComm1.CommPort = 4            ' número de la puerta (USB Serial Port)
MSComm1.PortOpen = True         ' abre la puerta
```

```
Open "dat.txt" For Output As 1    ' crea archivo de texto para grabar códigos
Ymax = picRx.ScaleHeight         ' ancho de la ventana gráfica (píxeles)
Xmax = picRx.ScaleWidth          ' altura de la ventana gráfica (píxeles)
```

ND = 0

X = 0

Ya = 128 ' centro vertical del grafico

Ti = Timer ' registra instante de inicio

Do ' loop infinito

If MSComm1.InBufferCount > 0 Then ' si hay códigos en el buffer serial

```
Rx() = MSComm1.Input          ' lee 1 código
Print #1, Rx(0)               ' graba el código en el archivo
ND = ND + 1                   ' incrementa contador de datos recibidos
If X <= Xmax Then              ' si X está dentro del ancho del gráfico
    Y = Ymax * (1 - (Rx(0) / 255)) ' calcula coordenada Y
    picRx.Line (X - 1, Ya)-(X, Y) ' dibuja línea desde el punto anterior al actual
    Ya = Y                     ' memoriza punto actual para dibujar sgte. línea
Else                            ' X superó el ancho del gráfico
    picRx.Cls                  ' borra el gráfico
    X = 0                      ' vuelve al borde izquierdo
    lbIFs = CLng(ND / (Timer - Ti)) ' calcula y despliega Fs (tasa de muestreo)
End If
```

```
X = X + 1                      ' incrementa X
End If
```

```

DoEvents ' cede el control, para procesar otros eventos
Loop
End Sub

```

```

Private Sub Form_QueryUnload(Cancel As Integer, UnloadMode As Integer)
' Este procedimiento se ejecuta automáticamente al cerrar el formulario

```

```

MSComm1.PortOpen = False ' cierra la puerta RS232
Close 1 ' cierra el archivo
End ' cierra el programa

```

```

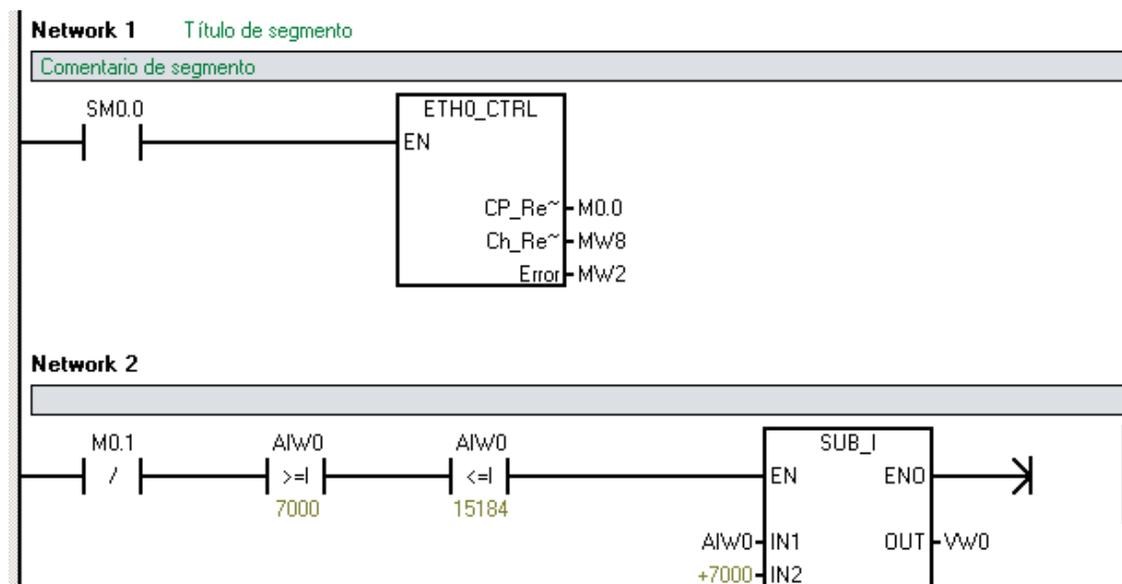
End Sub

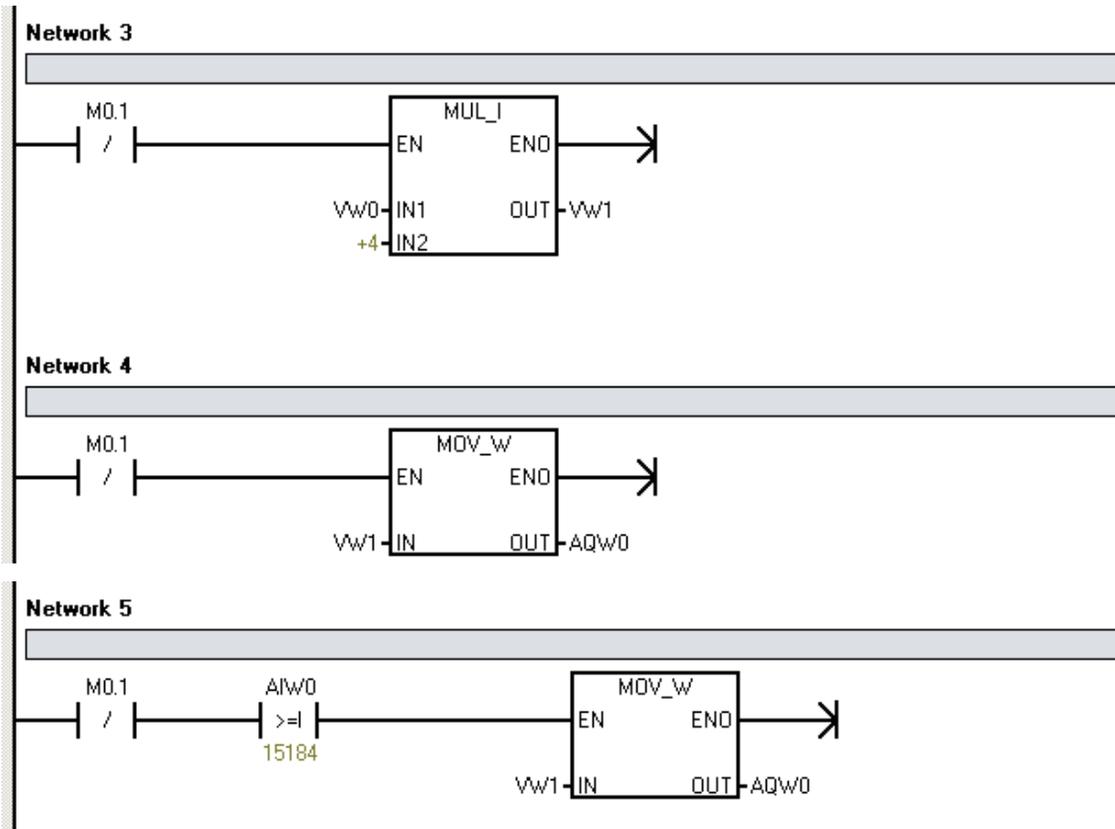
```

Código Leader de los PLC S7-224XP del sistema prototipo de laboratorio, para el control de la temperatura.

PLC 1

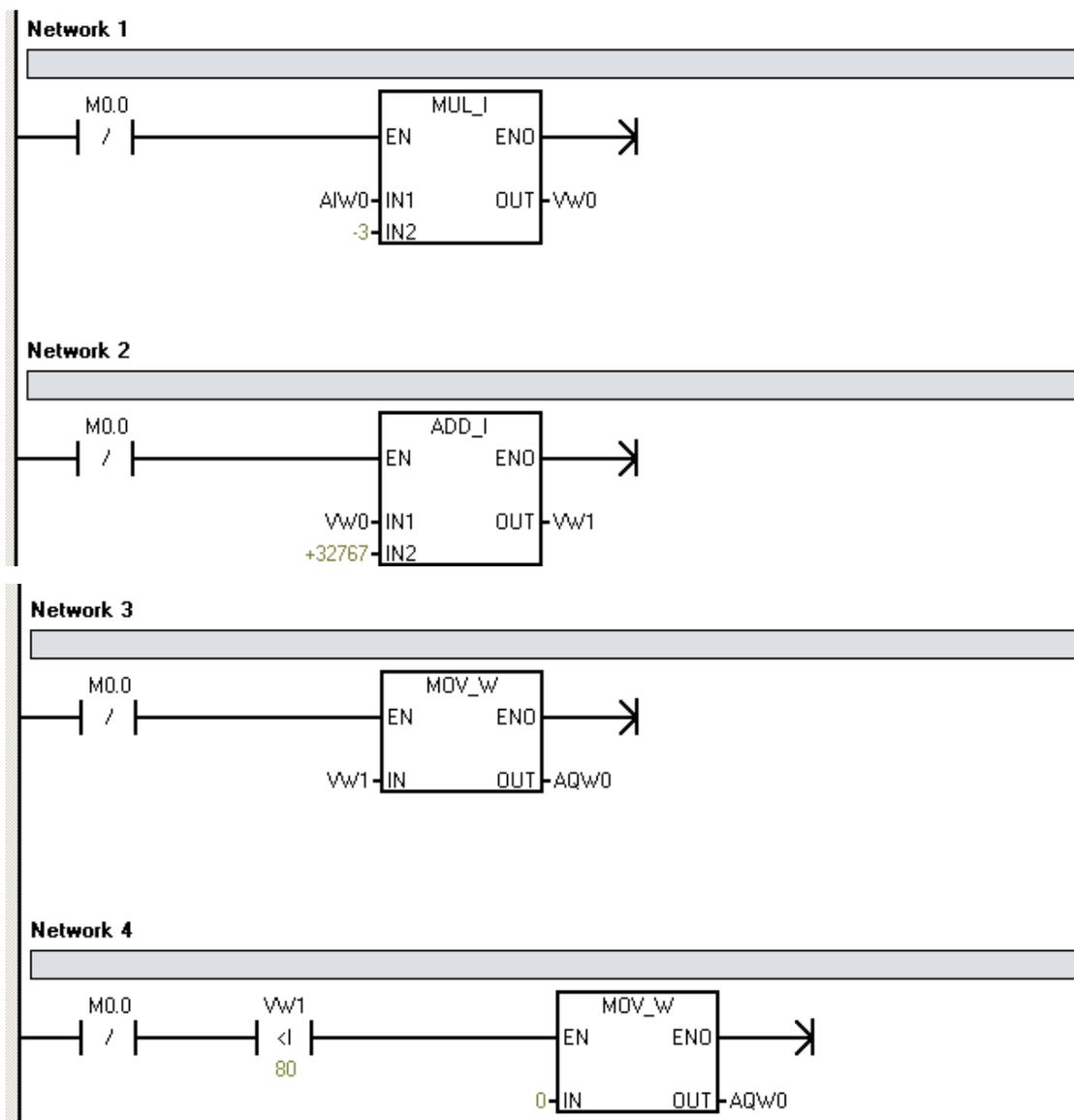
- Mide temperatura
- Actúa sobre la válvula de agua fría
- Controla la UMA (on/off)
- Revisa el estado del controlador





PLC 2

- Mide temperatura
- Actúa sobre la válvula de agua caliente



APÉNDICE E

ESQUEMA CIRCUITAL DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

APÉNDICE F

CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE STEP 7 MICRO/WIN32 Y DEL SERVIDOR OPC KEPWARE SERVER EX

APÉNDICE F

CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE STEP 7 MICRO/WIN32 Y CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR OPC KEPLER SERVER EX

CONFIGURACIÓN DE STEP 7 MICRO/WIN32

Para trabajar en red, los PLC deben ser configurados en aspectos lógicos de la red, como direcciones IP y enlaces entre PLC. Para configurar un PLC, éste se conecta mediante cable PPI y se enlaza mediante el software STEP 7 Micro/Win 32. Una vez enlazado, se selecciona la opción Asistente/Internet.

Esto abre el asistente Internet para configurar el módulo CP 243-1 IT.

Una vez abierta la ventana el asistente da la opción de leer los módulos para que el asistente busque el módulo CP 243-1 IT e indique su posición. Si el módulo en cuestión es el primer o único módulo instalado, se indica con la posición 0.

Luego de identificar el módulo debe indicarse la configuración IP de éste. Se ingresa dirección, máscara y gateway, según corresponda. Se mantiene por omisión el resto de las configuraciones.

Luego se determina el byte de comando y la cantidad de enlaces. Para ello se introduce la dirección de salida (Q) correspondiente al módulo CP 243-1 IT. El byte de comando de un módulo inteligente es el byte Q de salida asignado a este módulo.

Si el asistente lee la posición en forma correcta del módulo, la dirección de salida se visualiza en forma correcta. En el campo siguiente, se indica la cantidad de enlaces a configurar en el módulo. El módulo soporta hasta 8 enlaces asíncronos simultáneos. En éste caso no se configuran enlaces, ya que no son estrictamente necesarios para la aplicación.

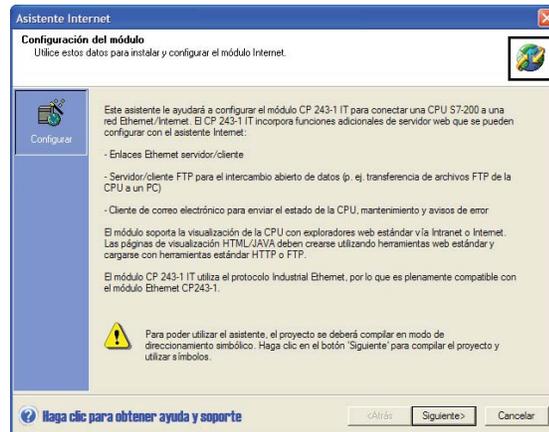


Figura F-1. Asistente Internet para la configuración de los PLC.

Luego de realizada la configuración de los enlaces se habilita la seguridad de la configuración de red del módulo en caso de sobrescribir la configuración. Se habilita entonces “*Generar protección CRC*”.

El módulo CP 243-1 IT tiene funciones de servidor WEB, FTP y correo electrónico. Para poder administrar estas funciones, se debe poseer una cuenta de administrador de estas funciones. Se configura esta cuenta y se habilita la opción de permitir al administrador acceder por completo al web. Luego se indica al programa en que zona de memoria se debe instalar la configuración de red realizada. En forma automática el programa indica la dirección de offset donde se va a instalar la configuración. Se puede ingresar otro valor de offset, pero se debe cuidar que esta zona de memoria no se traslape con *registros V* que son utilizados por el programa del PLC, para realizar las transferencias de datos.

Finalmente, en el árbol de proyecto se observa que la entrada *Asistente/Internet*, se expande mostrando los detalles de la configuración realizada.

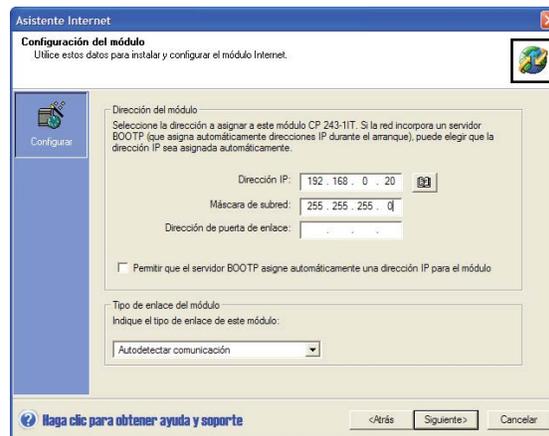


Figura F-2. Asignación de la dirección IP al módulo CP 243-1 IT del PLC.

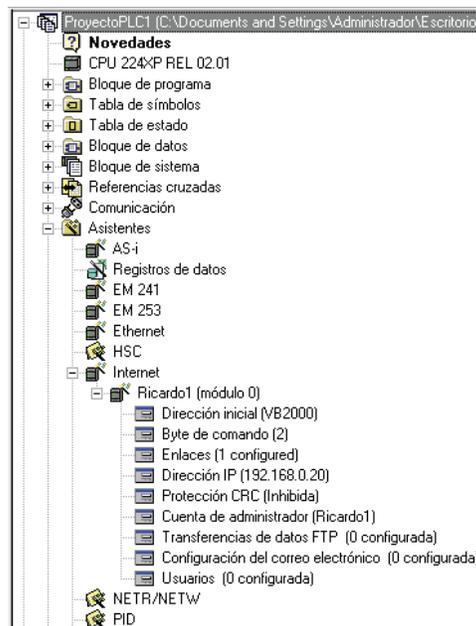


Figura F-3. Resumen de la configuración del módulo Ethernet del PLC S7-224XP.

Cada PLC se configura de la misma manera pero con direcciones IP diferentes. Al igual que a los PLC al PC que monitorea el sistema se le asigna una dirección IP. La máscara de sub red de los tres dispositivos debe ser la misma.

Este sistema prototipo es configurado desde un PC virtual creado por el software de Microsoft Virtual PC, disponible gratuitamente a través de Internet. Esto implica que la máquina virtual y el PC deben estar también en red, por lo

que a ambos se le asigna una dirección IP y una máscara de sub red.

CONFIGURACIÓN DE KEPWARE SERVER EX

A través del servidor OPC se configura la comunicación hacia los PLC S7 224XP de Siemens, utilizando protocolo Industrial Ethernet.

Al ejecutar la aplicación *KEPServerEX V4.0* desde el escritorio de Windows se abre la aplicación con la configuración de simulación por omisión.

En el menú de *KEPServer* la opción *Edit/New Channel* configura un nuevo canal. Este canal se habilita seleccionando el protocolo *Siemens TCP/IP Ethernet*. También se configura la tarjeta de red que será utilizada. Al finalizar se ha configurado la comunicación a través de la tarjeta de red seleccionada. A continuación se configuran los dispositivos conectados a la red. *KEPServer* muestra en la columna superior izquierda el canal configurado y un mensaje “*Click to add a device*”.

Al hacer clic se abre la ventana de comunicación para incorporar un nuevo dispositivo. Se selecciona el S7-200 asignándole la dirección IP que corresponda.

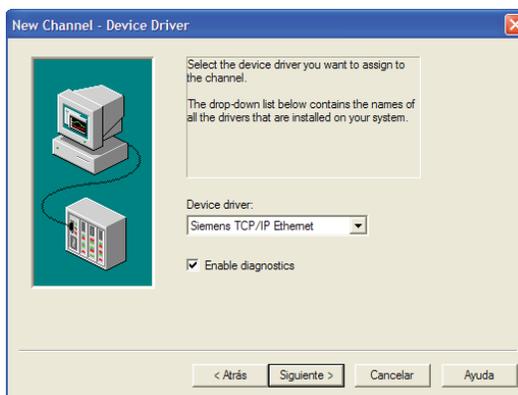


Figura F-4. Configuración del protocolo TCP/IP.

Al finalizar la configuración se repiten los pasos para agregar el segundo PLC con su respectiva dirección IP.

Una vez incorporados los PLC a la red, se configura un ítem en el servidor que corresponde a un registro del PLC. Para ello se selecciona el mensaje “*Click to add a static tag*”, para uno de los dispositivos. Se abre una nueva ventana la cual permite vincular un registro del PLC a un ítem OPC. En el campo *Name*, se configura el nombre o etiqueta (Tag) del ítem, por ejemplo *VCALIENTE*. En el campo *address* se configura la dirección del registro. Normalmente para ello se ocupa la sintaxis del hardware. En este caso se ingresa el registro *AQ0* que corresponde a una salida analógica (la que controla la válvula de agua caliente). Se repite el proceso para configurar nuevos ítem en ambos dispositivos.



Figura F-5. Incorporación de un nuevo dispositivo a la red.



Figura F-6. Creación de tags para la comunicación entre PLC y KEPServer.