

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN SISTEMA DE INTEGRACIÓN, ADQUISICIÓN, CONTROL Y SUPERVISIÓN PARA EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DEL CENTRO DIRECTIVO CULTURAL DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS

Prof. Guía: Ing. Mercedes Arocha

Tutor Industrial: Ing. Alexander Cepeda

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Gondurak J., Wladimir J.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2016

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN SISTEMA DE INTEGRACIÓN, ADQUISICIÓN, CONTROL Y SUPERVISIÓN PARA EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DEL CENTRO DIRECTIVO CULTURAL DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS

Prof. Guía: Ing. Mercedes Arocha

Tutor Industrial: Ing. Alexander Cepeda

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Gondurak J., Wladimir J.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2016

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 18 de mayo de 2016

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Wladimir J. Gondurak J., titulado:

**"DISEÑO DE UN SISTEMA DE INTEGRACIÓN, ADQUISICIÓN,
CONTROL Y SUPERVISIÓN PARA EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN
DEL CENTRO DIRECTIVO CULTURAL DE LA CIUDAD
UNIVERSITARIA DE CARACAS"**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la opción de Electrónica, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Támara Pérez
Jurado

Prof. José Romero
Jurado

Prof. Mercedes Arocha
Prof. Guía

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi madre María Rosa, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti.

Mi padre Gregory Bladimir (QEPD), por darme la vida, quererme mucho, y apoyarme siempre donde quiera que estés.

Mi hermana, Johanna, por estar conmigo y apoyarme siempre, te quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A Dios,

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A la Universidad Central de Venezuela,

Por haberme permitido que sus profesores me formen académicamente y profesionalmente para ser quien soy hoy.

A mis tutores, Mercedes Arocha y Alexander Cepeda,

Por haberme guiado en el largo camino de la realización del presente Trabajo Especial de Grado.

A todas aquellas personas que de alguna forma me apoyaron en la culminación de mis estudios.

A todos Gracias...

Gondurak J., Wladimir J.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE INTEGRACIÓN, ADQUISICIÓN,
CONTROL Y SUPERVISIÓN PARA EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DEL
CENTRO DIRECTIVO CULTURAL DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE
CARACAS**

**Profesor Guía: Ing. Mercedes Arocha. Tutor Industrial: Ing. Alexander
Cepeda. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería
Eléctrica. Ingeniero Electricista 2016. Opción: Electrónica y Control.**

Institución: Escuela de Ingeniería Eléctrica. 121 h + Anexos.

Palabras Claves: SCADA; Sistema de Climatización; Sistema de Control;
Modbus.

Resumen: Se diseñó un SCADA basado en la versión libres de 50 objetos del IGSS de Schneider, para ello se dividió el mismo en los diferentes subsistemas del sistema de climatización. Previamente se especificó a nivel conceptual el sistema de control creando la directriz que guiaría el desarrollo y posterior ejecución del proyecto. Se aplicó una metodología mediante la cual, a partir de los parámetros concentrados de los conductores se determinaron las limitaciones en longitud de los mismos en función de la velocidad de transmisión de datos. Para permitir al usuario manipular el programa así como para configurarlo, se elaboró un manual del SCADA lo cual mejora la flexibilidad del sistema de supervisión. En última instancia, se programó una maqueta en el IGSS para emular parte del sistema de climatización y así verificar el funcionamiento del programa creado.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA	xv
SIGLAS Y ABREVIATURAS	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
MARCO TEÓRICO.....	5
Sistema de Climatización.	5
Unidad de Refrigeración	5
Equipos de Condensación	5
Equipos de Manejo de Aire	5
Equipos de Suministro y distribución de aire.....	5
Sistemas de Expansión Directa	6
Equipos Individuales Compactos	6
Equipos en Partición	6
Sistemas Centrales	6
Unidades Manejadoras de Aire (UMAs).....	7
Fancoils	8
Motores.	8
Variadores de Velocidad.	12
Arrancadores de Motores de Inducción.	13
Supervisory Control And Data Adquisition – SCADA (Adquisición de Datos y Control Supervisorio).....	14

Controladores Lógicos Programables (PLCs):	16
Relé Programable.....	18
Unidad Terminal Remota (RTU).....	19
Modelo OSI (Open System Interconnection – Sistema Abierto de Interconexión).	20
Red de Campo.	21
Hart	22
Modbus.....	22
BacNet.....	23
GATEWAY o Puerta de Enlace.	23
Ciudad Universitaria de Caracas.	23
CAPÍTULO II.....	25
LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.	25
Lista de Variables:	25
Variables Eléctricas	25
Variables Mecánicas	25
Variables Misceláneas en Función de Máquinas:.....	26
Unidades de Manejo de Aire (UMAs)	27
Características Equipos proyectados en el SPAH	27
Chillers	28
Bombas de Agua.....	28
Diseño de Registro de Levantamiento	29
Código de levantamiento.....	31
Resultados Levantamiento	34
CAPÍTULO III	39
EQUIPOS Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	39
Torres de Enfriamiento	51
Bombas de Condensación	51
Chillers	51
Bombas principales.....	51
El sistema de distribución de agua helada.....	51

Funciones de cada Subsistema	52
Torres de Enfriamiento	52
Bombas de Condensación y Bombas Primarias	53
Chillers	54
Bombas Secundarias	54
Circuitos de Agua Helada	54
Controlador Central	55
Unidad Manejadora de Aire (UMA).....	56
Fancoils	57
Redes en el Sistema de Climatización del CDC-UCV	57
Red de Campo	57
Red de Control.....	60
Estaciones de Trabajo	69
CAPITULO IV	71
DISEÑO DEL SCADA.....	71
Código de Colores en Señalización de Objetos.....	72
Variables Mecánicas	73
Subsistema Torres de Enfriamiento	73
Subsistema Bombas Principales y de Condensación.....	74
Subsistema Chillers.....	75
Subsistema Bombas Secundarias.....	76
Subsistema de UMA	78
Subsistema de Fancoils	79
Subsistema de CCM y Celdas de Potencia.....	79
Variables Eléctricas	80
Niveles de acceso al Software SCADA	82
Nivel Supervisorio	82
Nivel Mantenimiento	82
Nivel Programador.....	83
HMI de Torres de Enfriamiento	83

HMI de Bombas de Condensación y Principales	83
HMI de Chillers	83
HMI de Bombas Secundarias	84
HMI de CCM.....	84
HMI de UMA	84
HMI de Fancoils	84
Objetos Comunes en las HMI.....	84
Alarmas	85
Alarmas Altas	85
Alarmas Bajas.....	85
Alarmas Digitales	85
Estados de los equipos	86
Apagado	86
Encendido.....	86
Averiado	86
Mantenimiento.....	86
El control desde la HMI	86
Apagar	87
Encender.....	87
Mantenimiento.....	87
En servicio	87
Los históricos.....	87
La simulación y programación	88
CAPITULO V	90
MANUAL DE USUARIO	90
Objetivo del Manual de Usuario.....	90
Estructura para el manual de usuario	91
CAPITULO VI	92
VERIFICACIÓN DEL SCADA.....	92
Objetivos de verificación	92

Estructura de la red de control emulada.....	93
Computador SCADA	93
Computador emulador de la memoria de PLC	93
Computador Huésped del Emulador del Sistema de Climatización	93
Programación del Modelo Matemático de los equipos del SCADA.	96
Subpanel de Alarmas	96
Subpanel de Variables Analógicas	96
Verificación del Funcionamiento del SCADA mediante la emulación del Sistema de Climatización.	99
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
BIBLIOGRAFIA	108
ANEXOS.....	110
LISTADO DE ANEXOS	111
ANEXO 1. Modelos de Fichas de Levantamiento	111
ANEXO 2. Fichas de Levantamiento	111
ANEXO 3. Atenuación del Conductor	111
ANEXO 4. Diagramas de Flujo de Programas.....	111
ANEXO 5. Lista Resumen de Objetos en SCADA	111
ANEXO 6. Capturas de Pantalla de HMI	111
ANEXO 7. Manual de Usuario	111
ANEXO 8. Mapa de Memoria de PLC	111
ANEXO 9. Diagramas de Redes de Control	111
ANEXO 10. Lista de ecuaciones para modelado de Sistema de Climatización	111
ANEXO 11. Capturas de Pantallas de Equipos Emulados	111
ANEXO 12. Tablas de Pruebas	111
ANEXO 13. Cálculos Métricos.....	111
ANEXO 14. Videos de Simulación de SCADA	111

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de Sistema de Aire Acondicionado Central.	7
Figura 2. Característica de consumo de corriente típica de motores de inducción en función de la velocidad de giro de motores de corriente. [2].....	9
Figura 3. Característica de par típicas de máquinas de inducción según letra de diseño A, B, C, D, H y N. [2].....	10
Figura 4. Diagrama de bloques de sistema de control de flujo de aire en UMAs.	12
Figura 5. Diagrama de bloques de sistema de control de caudal de agua a presión constante.....	13
Figura 6. Esquema General de un Sistema SCADA. Fuente: Propia.	15
Figura 7. Estructura del Modelo OSI. [7].	20
Figura 8. Modelo de Ficha de Levantamiento de Motores	206
Figura 9. Esquema de equipos instalados en el proyecto del Sistema de Climatización del Complejo Directivo Cultural de la UCV.	37
Figura 10. Esquema de protocolos de comunicación soportados por los distintos equipos de campo, control y supervisión del SPAH del CDC-UCV.....	39
Figura 11. Esquema de comunicación de los equipos de campo, control y supervisión del SPAH del CDC-UCV	44
Figura 12. Esquema del sistema de control del Sistema de Climatización del CDC-UCV.	52
Figura 13. Esquema de red para programación de SCADA.	88
Figura 14. Esquema de comunicación en la Red de Control para la verificación del SCADA programado.	93
Figura 15. Panel de Alarmas.	96
Figura 16. Subpanel de Variables Analógicas.....	97
Figura 17. Comandos de Estado del Objeto Emulado.	98
Figura 18. Comandos Recibidos del SCADA para el Objeto.	98

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de Interés de los Chillers.....	28
Tabla 2. Características de Interés de las Bombas de Agua	28
Tabla 3. Características de Interés de las UMAs.....	30
Tabla 4. Protocolos de comunicación soportados por los dispositivos de campo instalados en el Sistema de Climatización del CDC-UCV.....	41
Tabla 5. Comparación entre los principales medios de comunicación posibles a implementar en la red de campo y control del SPAH del CDC-UCV.....	42
Tabla 6. Cantidad de Datos a Recaudar en Redes de Campo.....	45
Tabla 7. Velocidades de Transferencia en Redes de Campo y Control.	46
Tabla 8. Resultados de Cálculos en Estimaciones de Velocidad de Transferencias de datos en Redes de Campo y Control.	47
Tabla 9. Características Eléctricas de los Conductores de Par Trenzado empleados en redes RS-485.....	48
Tabla 10. Máxima Longitud en Metros de Conductor Par Trenzado en Redes RS-485 en Función de la Velocidad de Transmisión.....	50
Tabla 11. Rangos de medición mínimos de los sensores de campo a instalar	62
Tabla 12. Precisiones de medida en instrumentos de medición.	65
Tabla 13. Requerimiento de E/S Digitales y Analógicas en PLCs.	67
Tabla 14. Cantidad de Memoria RAM mínima requerida por PLC en función de la cantidad de información manejada.....	68
Tabla 15. Lista de Variables a Supervisar en Torres de Enfriamiento.	73
Tabla 16. Lista de Variables a Supervisar en Bombas Principales y de Condensación.....	74
Tabla 17. Lista de Variables a Supervisar en Chillers	75
Tabla 18. Lista de Variables a Supervisar en Bombas Secundarias.....	76
Tabla 19. Lista de Variables a Supervisar en UMAs.	78
Tabla 20. Lista de Variables a Supervisar en Fancoils.	79

Tabla 21. Lista de Variables a Supervisar en CCM.	79
Tabla 22. Lista de Variables a Eléctricas a Supervisar	80
Tabla 23. Resumen de las características de los Software de SCADA considerados en el caso de estudio.....	81

LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico N° 1. Cantidad de equipos instalados según su capacidad de comunicación del SPAH del CDC – UCV	35
Gráfico 2. Composición de protocolos de comunicación de equipos existentes en SPAH del CDC de la UCV.....	36

SIGLAS Y ABREVIATURAS

CUC:	Ciudad Universitaria de Caracas
CDC:	Centro Directivo Cultural de la CUC
TR:	Toneladas de Refrigeración
UMA:	Unidad Manejadora de Aire.
SPAH:	Sistema de Producción de Agua Helada.
SMS:	Slow Motor Starter (Arrancador Suave).
VFD:	Variable Frequency Driver (Variador de Frecuencia).
CCM:	Cuarto de Control de Motores.
GO:	Gaceta Oficial.
ISO:	International Organization of Standardization (Organización Internacional de Estandarización).
SCADA:	Supervisory Control and Data Acquisition System (Sistema de Control Supervisorio y Adquisición de Datos.
Cv:	Coeficiente Volumétrico Medido en Unidades del Sistema Inglés.
Kv:	Coeficiente Volumétrico Medido en Unidades del Sistema mks.
HPDT:	Pulgadas de Columna de Agua (Unidad de Presión).
IGSS:	Software para Programación de SCADA de Schneider.

INTRODUCCIÓN

El Sistema de Climatización del Centro Directivo Cultural de la Ciudad Universitaria de Carcas (CDC-CUC) es un sistema proyectado para una capacidad de enfriamiento de 1600 Toneladas de Refrigeración con demanda eléctrica de 2000 kVA a 480Vac, compuesto de varios bloques o subsistemas tales como Unidades Manejadores de Aire (UMAs), ubicadas cerca de los ambientes a climatizar, pisos 1 al 12 del edificio Biblioteca Central, Aula Magna), circuitos de agua helada conformados por bombas principales y secundarias encargadas de elevar el agua helada hacia los ambientes, unidades de compresión y condensación (Chillers) y unidades evaporadoras (torres de enfriamiento).

En la actualidad el Sistema de Producción de Agua Helada proyectado está parcialmente instalado. Los motores eléctricos asociados a las UMAs, bombas y Chillers manejan potencias entre 20 hp y 250 hp contando en su implementación con arrancadores suaves o (Soft Motor Starter) y variadores de velocidad (Variable Frequency Driver) a fin de efectuar acciones que permitan controlar la temperatura o el caudal de los distintos ambientes o bombas del CDC-CUC respectivamente.

En la actualidad no existe coordinación e integración adecuada, desde el punto de vista de control entre los distintos subsistemas del Sistema de Climatización, por lo tanto las labores de monitoreo y control son ejecutadas por el personal de mantenimiento el cual acciona manualmente los equipos que integran al sistema. Esto imposibilita realizar acciones adecuadas para mantenerlo en operación óptima, trayendo como consecuencia final, temperaturas poco confortables para los usuarios finales y operación ineficiente con el consecuente consumo excesivo de energía.

Con la implementación de una infraestructura de comunicación y control entre los distintos elementos del sistema, este puede ser capaz de operar de manera automática además de registrar y almacenar información de distintas variables de interés, las cuales pueden ser utilizadas para construir estadísticas requeridas para validar planes de mantenimiento o la programación de los mismos. También, permitirá la consulta de manera remota, a través de computadores personales o teléfonos inteligentes del estado del sistema permitiendo entre otras cosas un diagnóstico rápido del mismo en caso de que ocurra alguna avería, reduciendo con esto los tiempos de parada por labores de mantenimiento y reparación.

Con este sistema se podrá recopilar información referente al consumo del Sistema de Climatización, permitiendo evaluar las curvas de demanda a fin de desarrollar estrategias de funcionamiento del mismo para reducir el gasto innecesario de electricidad, en conformidad con lo establecido en la Resolución N° 077 del Ministerio del Poder Popular de Energía Eléctrica (GO N° 39694, 13/06/2011) referente a la obligación de los entes públicos de tomar medidas de ahorro energético y hacer seguimiento de las acciones para la efectiva disminución de los consumos, en consonancia con lo dispuesto en la Ley de Uso Racional y Eficiencia de la Energía Eléctrica (GO 39823, publicada el 19/12/2011) y en estándares internacionales tales como la norma ISO 50001: 2011.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La inexistencia de un sistema integrado de monitoreo y control de variables electromecánicas, de presión y temperatura de fluidos, actualmente asociados a maquinarias (motores, actuadores y sensores) con limitados o distintos protocolos y medios de comunicación, impone la necesidad de implementar un sistema que integre la capacidad de comunicación existente para el monitoreo y control centralizado y remoto de las variables de interés del Sistema de Climatización del CDC-CUC. Esto permitirá un funcionamiento automático del sistema acorde con las políticas de consumo energético nacionales además de elaborar estadísticas de funcionamiento para validar o programar planes de mantenimiento.

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un sistema de integración, adquisición, control y supervisión para el sistema de climatización del Centro Directivo Cultural de la Ciudad Universitaria de Caracas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Registrar las características técnicas y de comunicación de los distintos equipos, actuadores y sensores instalados en el sistema bajo estudio.

Determinar los equipos y protocolos de comunicación necesarios para la supervisión y control del sistema de climatización.

Especificar los equipos necesarios para la integración del sistema de climatización, así como las redes de comunicación necesarias para el monitoreo y control remoto del mismo.

Desarrollar la aplicación que permita el monitoreo y control de las variables electromecánicas asociadas al sistema.

Elaborar un manual de usuario para el sistema desarrollado.

Verificar el funcionamiento de la aplicación de monitoreo y control mediante simulación del sistema de climatización.

MARCO TEÓRICO

Sistema de Climatización.

Es un sistema que controla la temperatura, humedad y pureza del aire de un ambiente cerrado para generar confort o proporcionar las condiciones climáticas requeridas por un determinado proceso. Su diseño depende de un conjunto de factores entre los cuales destacan la función de las instalaciones, las características físicas del edificio, consumo energético, mantenimiento y la inversión financiera en su construcción. [1]

Los sistemas de climatización a grandes rasgos constan de los siguientes elementos:

Unidad de Refrigeración: es la encargada de controlar los estados físicos del refrigerante de modo tal que sea posible absorber el calor del ambiente a climatizar y transferirlo al medio ambiente.

Equipos de Condensación: son los encargados de intercambiar el calor entregado por el equipo de refrigeración con el medio ambiente.

Equipos de Manejo de Aire: son las unidades que se encargan de extraer el calor del local a climatizar y trasmitirlo a las unidades de refrigeración, este proceso se puede hacer mediante circuitos de agua helada o del líquido refrigerante.

Equipos de Suministro y distribución de aire: está conformado por la red de ductos que transportan el aire desde las unidades manejadoras de aire hasta el ambiente a climatizar.

Dependiendo de la manera que se extrae el calor desde el local hacia el ambiente tenemos:

Sistemas de Expansión Directa: se caracterizan porque mediante los cambios de estados físicos del refrigerante es que se transfiere el calor desde el ambiente climatizado hacia el exterior, a su vez se subdividen en:

Equipos Individuales Compactos: son equipos que poseen en una misma envolvente todos los elementos necesarios para climatizar el local (compresor, evaporador, condensador, control eléctrico, etc.). [1]

Equipos en Partición: estas unidades se caracterizan por separar en dos envoltorios el sistema, una parte compuesta por la unidad compresora y condensadora la cual es situada en lugares ventilados y la restante compuesta por la unidad evaporadora dentro del ambiente a climatizar, estando conectadas estas partes por una tubería que transporta el líquido refrigerante entre ellas. [1]

Sistemas Centrales: este tipo de sistemas son ampliamente utilizados en edificaciones donde sea necesario desplazar enormes cantidades de carga térmica, para ello se requiere una infraestructura con circuitos de refrigeración (agua helada o amoníaco) los cuales extraen el calor de los ambientes valiéndose de las unidades manejadoras de aire, luego todos los circuitos convergen en un sistema común el cual transporta la carga térmica desde los circuitos de agua helada hasta los circuitos de condensación pasando por los equipos de compresión, donde finalmente se entrega el calor al medio ambiente empleando sistemas de condensación tales como las torres de enfriamiento, en la Figura 1 podemos observar un esquema de la estructura de un sistema de climatización central. [1]

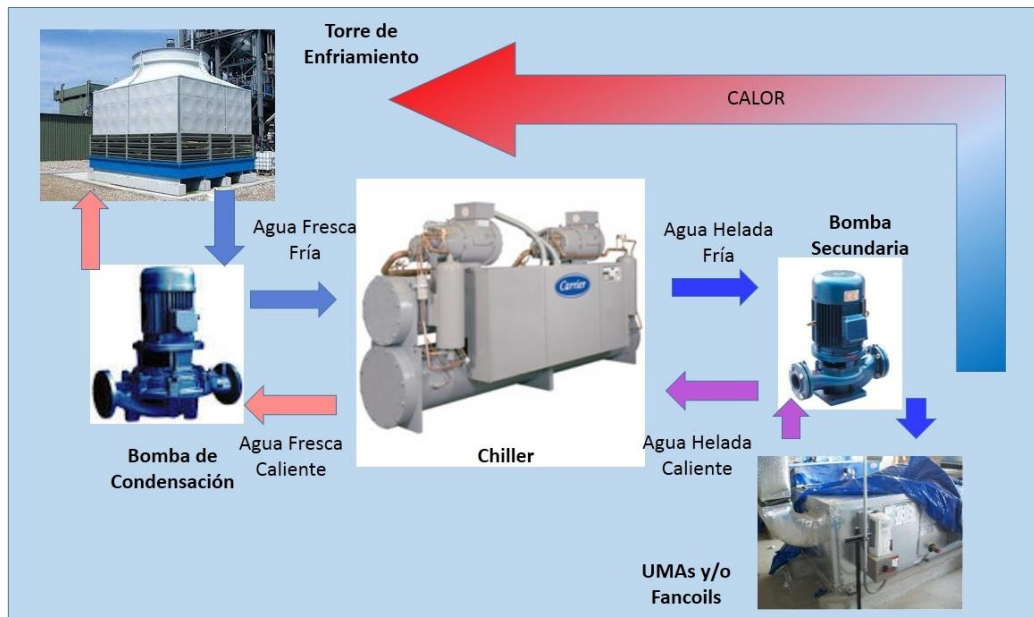


Figura 1. Diagrama de Sistema de Aire Acondicionado Central.

Unidades Manejadoras de Aire (UMAs): son equipos que realizan el tratamiento del aire que se desea climatizar cumpliendo las funciones de filtrado, control de temperatura, humedad y recirculación del mismo. Pueden ser a volumen constante o variable cuya implementación dependerá de la precisión con la cual se requiera controlar las variables térmicas asociadas al ambiente a climatizar, cabe destacar que este tipo de unidades requieren de redes de ductos para el transporte de aire climatizado, globalmente las unidades cumplen las siguientes funciones:

- Filtrar el aire: para ello emplean unos filtros de polvo para recoger las partículas no deseadas del aire climatizado, en la mayoría de los casos el fabricante de los filtros especifica la forma y periodicidad que los mismos deben ser limpiados y en algunos casos se emplean sensores de presión diferencial para determinar cuándo es necesario realizar una limpieza del sistema de filtrado.
- Adecuar la temperatura del aire: para ello emplean intercambiadores de calor los cuales son enfriados o calentados por circuitos de gas

refrigerante o agua helada. Para realizar esta función en sistemas de alta eficiencia térmica o que requieran controles precisos de temperatura la UMA puede variar el volumen de aire (mediante variadores de velocidad) de acuerdo a las diferencias de temperatura entre una referencia (fijada por el usuario) y la de retorno de aire. En otros casos donde no se requiera tanta precisión se emplean estrategias de control on-off.

- Controlar la Humedad del Aire: se emplean sistemas dosificadores de vapor de agua y sistemas de condensación de agua.

Fancoils: al igual que el caso de las UMAs este tipo de unidades están diseñadas para controlar las variables térmicas del aire de un ambiente cerrado, sin embargo, se crearon para no requerir de complicadas redes de ductos permitiendo instalarla dentro del ambiente, su reducido tamaño solo permite controles on-off en la temperatura sin dejar de lado el filtrado aire.

.

Motores.

El motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas, que dependiendo del tipo de alimentación pueden ser de corriente continua o de corriente alterna, en el caso de los sistemas de climatización es común el uso de motores de corriente alterna específicamente los de inducción.

Los motores de inducción: son máquinas rotativas cuyas características de consumo de corriente así como de par mecánico no son lineales, siendo estos función del deslizamiento el cual cambia durante el arranque de la misma y dependiendo de la carga mecánica acoplada a los ejes del motor.

En este tipo de motores su construcción ha sido estandarizada por la National Electrical Manufacturers Association de EEUU (NEMA) para facilitar la selección de los mismos de acuerdo al tipo de aplicación, siendo estas clasificaciones las siguientes:

- NEMA A, B o N: son para aplicaciones como ventiladores, sopladores, bombas centrífugas, compresores o todas aquellas aplicaciones cuya característica de par de arranque sea baja.
- NEMA C o H: están diseñados para aplicaciones que requieran altos pares durante el arranque tal es el caso de agitadores, bombas y compresores recíprocos, molinos.
- NEMA D: son construidos con la capacidad de manejar grandes picos de cargas mecánicas, sus aplicaciones típicas son en prensas, elevadores o similares.

A continuación se muestran en las figuras 2 y 3 las curvas típicas de motores de inducción.

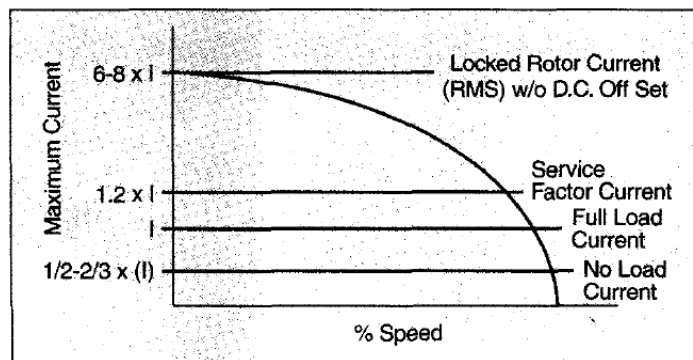


Figura 2. Característica de consumo de corriente típica de motores de inducción en función de la velocidad de giro de motores de corriente. [2]

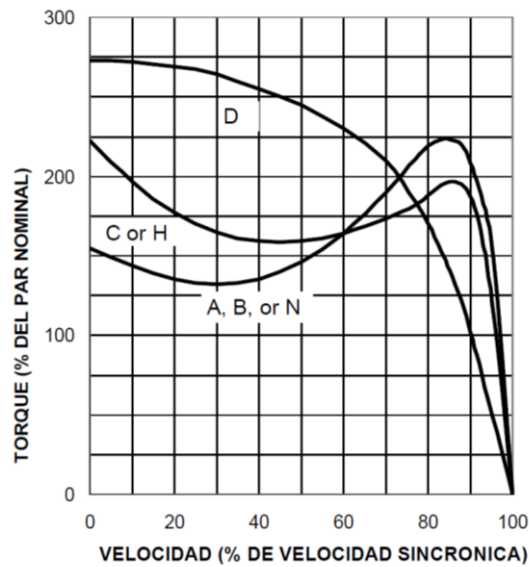


Figura 3. Característica de par típicas de máquinas de inducción según letra de diseño A, B, C, D, H y N. [2]

Además los motores de inducción son clasificados de acuerdo al tipo de servicio siendo estos [3]:

- ***Servicio continuo (S1)***: son aquellos motores cuyo régimen de operación es tan largo que alcanzan el equilibrio térmico, por ejemplo motores empleados en sistemas de bombeo de petróleo, gas o aceites.
- ***Servicio temporal (S2)***: este tipo de motores está pensado para operar durante cortos periodos de tiempo evitando que el mismo logre el equilibrio térmico, su aplicación está pensada en sistemas de bombeo de nivel freático.
- ***Tipo de servicio periódico intermitente sin arranque (S3)***: similar a los tipos S2 solo que su periodo de intermitencia es comparable con los tiempos de funcionamiento.

- ***Servicio periódico intermitente con arranque (S4):*** son motores diseñados para operar con carga de alta inercia durante arranques periódicos, por ejemplo motores de alto par que requieran numerosos arranques y paradas.
- ***Servicio periódico intermitente con arranque y frenado eléctrico (S5):*** similar a los tipos S4 solo que incorpora el frenado eléctrico, tal es el caso de los motores de vagones de ferrocarriles eléctricos.
- ***Tipo de servicio de funcionamiento continuo (S6):*** este tipo de motor funciona constantemente, sin embargo, la carga mecánica cambia durante su operación pasando de plena carga hasta vacío, por ejemplo motores en líneas transportadoras en la industria minera.
- ***Servicio de funcionamiento continuo con arranque y frenado eléctrico (S7):*** son motores que están diseñados para ser accionados por arrancadores suaves dado que requieren acelerar y frenar numerosas veces altas cargas mecánicas, por ejemplo grandes sistemas de ventilación.
- ***Servicio periódico de funcionamiento continuo con cambios de carga/velocidad relacionados (S8):*** requieren ser accionados por variadores de velocidad que ajustan su punto de operación dependiendo de la carga mecánica del motor, por ejemplo sistemas de bombeo a presión constante.
- ***Servicio con variaciones de carga y velocidad no periódicas (S9):*** están diseñados para operar en numerosos rangos de velocidad a distintas cargas mecánicas, por ejemplo en sistemas de ventilación.

En el caso del sistema de climatización del Complejo Directivo Cultural (CDC) de la UCV se emplean motores NEMA B para servicio continuo (S1) en el

caso de los motores asociados a las bombas del circuito primario de agua helada, de condensación, ventiladores de torres de enfriamiento, UMAs y Chillers. Ver fichas de levantamiento de información (Anexo 1).

Variadores de Velocidad.

Son equipos que se alimentan de la red de suministro eléctrico (frecuencia constante) y generan corriente alterna de distinta frecuencia, son diseñados para accionar motores de inducción a velocidad variable.

Entre las aplicaciones de los variadores de velocidad están los sistemas de ventilación a velocidad variable, sistemas de compresión (Chillers, compresores de aire), sistemas de bombeo a presión o caudal constante, sistemas de cintas transportadoras de líneas de producción, o cualquier otro sistema que requiera controlar el par o velocidad del motor.

En el caso de los sistemas de climatización específicamente en el caso del CDC – UCV, los mismos son empleados en el control de velocidad de los motores de UMAs al mantener el volumen de aire enfriado proporcional a la diferencia de temperaturas entre el aire de retorno y de referencia, en la Figura 4 se puede observar un diagrama de bloques del sistema UMA.



Figura 4. Diagrama de bloques de sistema de control de flujo de aire en UMAs.

Son empleados en sistemas de bombeo de presión constante (Red de Agua Helada de las bombas secundarias) mediante un control proporcional, derivativo e integral (PID) donde se controla la presión de agua helada al variar el caudal

(proporcional a la velocidad de giro del motor) con respecto a la suma de las tres acciones de control sobre la presión de agua instantánea contra la de referencia. En Figura 5 se puede apreciar el diagrama de control del caudal de agua.

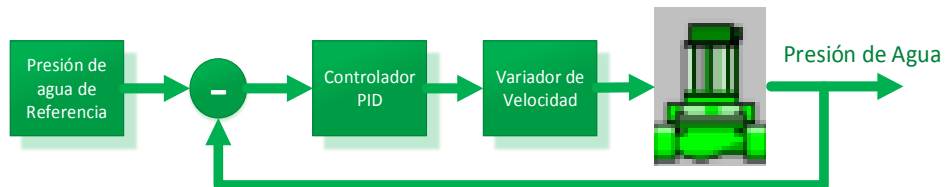


Figura 5. Diagrama de bloques de sistema de control de caudal de agua a presión constante.

Arrancadores de Motores de Inducción.

Son equipos que se encargan de accionar los motores permitiendo así que durante el arranque evolucione el punto de operación hasta los parámetros nominales, la selección depende en gran proporción del tipo de motor, la robustez de las instalaciones eléctricas y la característica de par de la carga a motorizar.

Entre los arrancadores más comunes podemos encontrar los electromecánicos y los electrónicos, los primeros se valen del funcionamiento de relés para suministrar un juego de tensiones a la máquina de manera tal de accionar el motor como se desea.

Electromecánicos:

Arrancadores directos: son empleados en aplicaciones que permitan que el motor se conecte directamente a la red de suministro a tensión y frecuencia nominal, la característica de este tipo de accionamiento es que demanda la corriente de rotor bloqueado durante el arranque.

Estrella-triángulo: similar al anterior solo que por un juego de contactores y conexiones se puede energizar la maquina a tensión reducida (57 % de la tensión nominal) y luego de un tiempo estipulado conectarla a plena tensión.

Por autotransformador: este tipo de arranque emplea un autotransformador que emplea numerosos pasos que permiten un barrido amplio de tensiones desde la más pequeña (10 % de tensión nominal) hasta plena tensión.

Electrónicos:

Están todos aquellos que valiéndose de la conmutación de transistores de potencia permiten el control de la corriente del motor para accionar la maquina ya sea variando la tensión RMS de la misma hasta llevarla a la nominal de operación o graduándola de manera tal que el motor absorba una corriente constante límite.

En el caso del SPAH se emplean los arrancadores suaves en todos los motores con potencias mayores a los 25 hp, siendo el caso de los asociados a las bombas de condensación (60 hp) torres de enfriamiento (25 hp), en el caso de los Chillers se emplean arrancadores estrella – triángulo a transición cerrada motivado a que los mismos fueron provistos de fábrica con este tipo de arrancador, en el caso de todos los demás motores al menos que requieran un control de velocidad se emplean arrancadores directos.

Supervisory Control And Data Adquisition – SCADA (Adquisición de Datos y Control Supervisorio).

El SCADA es un sistema que funciona sobre computadoras y se integra al proceso para supervisar mediante hardware adecuado (PLCs, sensores, Gateway, computadores industriales) para el control supervisorio del mismo. El mismo tiene como objetivo principal observar el funcionamiento correcto de la planta a supervisar y solo en ocurrencia de eventos en el sistema fuera de lo común, se generan y

registran alarmas que permitirán que un operador ejecute acciones correctivas sobre el funcionamiento del sistema. Cabe destacar que el control de las variables y el funcionamiento del sistema de climatización está a cargo de los controladores (PLCs) esto para conservar la confiabilidad del sistema ante averías de comunicación con el SCADA [4] [5].

El SCADA se estructura de acuerdo al esquema de la Figura 6. Donde se pueden observar los diferentes niveles:

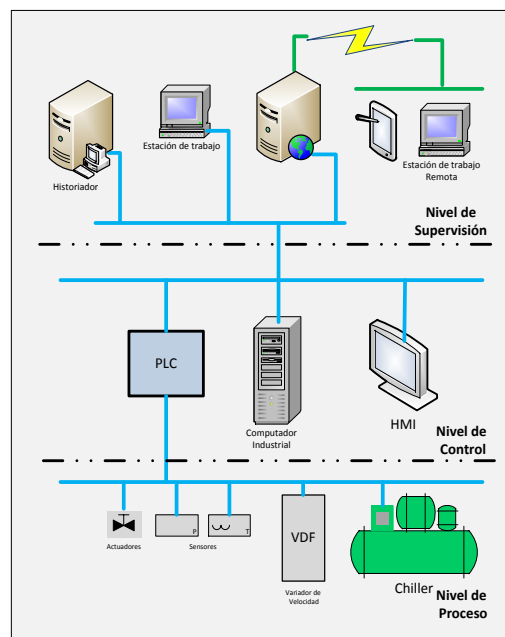


Figura 6. Esquema General de un Sistema SCADA. Fuente: Propia.

Nivel de Supervisión: comprende toda la lógica de supervisión del proceso, en esta capa es posible visualizar el estado total del sistema condensado en una pantalla de un computador, además del registro histórico de todas las variables directas e indirectas y de las acciones de control sobre el mismo. En su programación se comparan las distintas variables contra valores de referencia o incluso variables generadas a partir de modelos matemáticos que corren en tiempo real. Mediante

servidores es posible visualizar el funcionamiento del sistema desde ordenadores remotos haciendo uso de redes de datos (Internet) [5].

Nivel de Control: en él se incluye todo el hardware necesario para controlar el proceso (PLC, Computadores Industriales), la programación que posea esos dispositivos debe ser capaz de tomar las decisiones pertinentes al estado del proceso permitiendo controlar su ciclo de operación, el estado de las variables físicas involucradas, además de controlar el estado del bus de campo (recopilación de datos, envío de comandos). Toda la información que recauda esta jerarquía es enviada al nivel superior [5].

Nivel de Proceso: comprende todos aquellos dispositivos requeridos para llevar a cabo el proceso (Sensores, Actuadores, Variadores de Velocidad (VSD), Gateway), en él es requerido un bus de campo que es una estructura que comunica todos los dispositivos pertenecientes a él entre sí, además permite al nivel adyacente recibir información del proceso y enviar acciones de control [5].

Controladores Lógicos Programables (PLCs):

Es un dispositivo diseñado bajo un estándar [6] para ejecutar estrategias de control en tiempo real en función de lógicas de control programadas en su memoria interna y acorde a la información recabada por sus periféricos de entrada.

Entre los parámetros que se definen en IEC -61131 [7] se encuentran:

- Estructura de funcionamiento lógico: comprende la forma en que se ejecutarán las instrucciones de programación para llevar a cabo la rutina del programa.
- Puertos de Entrada y Salida: define las características eléctricas necesarias para ser lo suficientemente robusta para el entorno industrial además de

establecer una regla que permita compatibilizar la conexión de los distintos dispositivos de campo al controlador.

- **Protección contra los elementos ambientales:** se refiere a las características mecánicas, blindajes electromagnéticos, etc., que le permiten hacer frente a las hostilidades del ambiente industrial.

Al establecer su construcción en un estándar se garantiza confiabilidad en los sistemas controlados y de la intercambiabilidad entre distintos fabricantes de PLCs.

Al momento de la determinación de las especificaciones de un PLC es necesario conocer al menos lo siguiente:

1. **Medios de Comunicación:** se deben definir la cantidad y tipos de puertos de comunicación requeridos para poder interactuar con la red de campo, entre ellos tenemos los siguientes:
 - a. **Entradas y Salidas Digitales:** comúnmente usadas para accionar contactores o leer sensores con salidas booleanas.
 - b. **Entradas y Salidas Analógicas:** en su mayoría son empleadas en sistemas que requieran control continuo de sus variables, tal es el caso de los sistemas como máquinas de vapor, sistemas de climatización, de bombeo, etc.
 - c. **Puertos de comunicación:** permiten comunicación entre uno o varios dispositivos de campo con el PLC mediante el empleo de protocolos de comunicación.

2. Memoria: se divide en memoria volátil o RAM (*Random Acces Memory*) y no volátil o de programa, ambas son función de las rutinas y cantidad de variables involucradas en la programación del PLC, para su dimensionamiento existen factores de escala dados por los fabricantes (los cuales son producto de promedios de numerosos programas) que permiten determinar la cantidad de memoria RAM y de programa a partir del número de entradas y salidas, sin embargo, motivado a que el programa depende de la complejidad del proceso a controlar la mejor manera de determinar las dimensiones de la memoria es desarrollando la aplicación en el software de programación del PLC para así obtener dichas cantidades.
3. Velocidad de Cómputo: se refiere a la rapidez con que se ejecutan las operaciones aritméticas y lógicas para que se realicen las rutinas de programa dentro de los tiempos establecidos para el control eficaz de la planta.
4. Funciones Especiales: se refiere a funciones como los controles PID en distintas variables analógicas, etc., que puedan ser incorporadas al PLC.

Relé Programable: Es un dispositivo de control similar al PLC con la diferencia de que su diseño no está definido dentro de un estándar y que su rango de acción es limitado, esto es motivado a que se construyen para mejorar el sistema de control basado en lógica cableada o para sistemas de control sencillos, lo cual supone ahorro de costos al querer automatizar sistemas poco complejos (sistemas de iluminación temporizados). Los relés se especifican de acuerdo a lo siguiente:

- a. Entradas y Salidas Digitales: empleadas para accionar contactores o leer sensores.

- b. Funciones Especiales: entre ellas figuran los contadores para el accionamiento temporizado de los distintos equipos bajo su mando.
- c. Puertos de Comunicación: si es necesario la comunicación con otros equipos.

Unidad Terminal Remota (RTU): es un dispositivo que permite a un SCADA obtener información de la red de campo además de incorporar la posibilidad de enviar comandos al mismo. Su diseño está enmarcado en acciones de control puntuales que se ejecuten desde la HMI del SCADA y en la captura de datos, por lo tanto quedan fuera de sus funciones las acciones de control que se requieran para el funcionamiento normal de la planta. Para especificar estos dispositivos es necesario recopilar la siguiente información del sistema:

- a. Cantidad de Entradas y Salidas Digitales: necesarias para interactuar con los distintos actuadores y sensores digitales en la red de campo.
- b. Cantidad de Entradas y Salidas Analógicas: empleadas en su mayoría en la captura de información desde sensores analógicos.
- c. Puertos de comunicación: indispensables para la comunicación vía protocolo con otros dispositivos.
- d. Memoria de eventos: ese nuevo elemento permite registrar los eventos de funcionamiento de la planta para exportarlo al SCADA, su tamaño es función de la cantidad de registros que se desea almacenar.

Modelo OSI (Open System Interconnection – Sistema Abierto de Interconexión).

Es una estructura de organización para sistemas autónomos capaces de procesar y transferir información diseñada para que todo sistema que lo adopte pueda comunicarse con sus homólogos permitiendo interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes. Esta arquitectura se desarrolló en principio por IBM en 1974 para luego ser mejorado y estandarizado en 1984 por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO). El modelo prevé una comunicación vertical entre capas (capa N+1 con N y N con N-1) denominada servicio, y una horizontal (capa N con N) conocida como protocolo. Cada capa N ofrece un servicio a la capa inmediatamente superior y requiere los servicios de la inferior. A continuación en la Figura 7 se presenta el esquema general del Modelo OSI [8] [9].

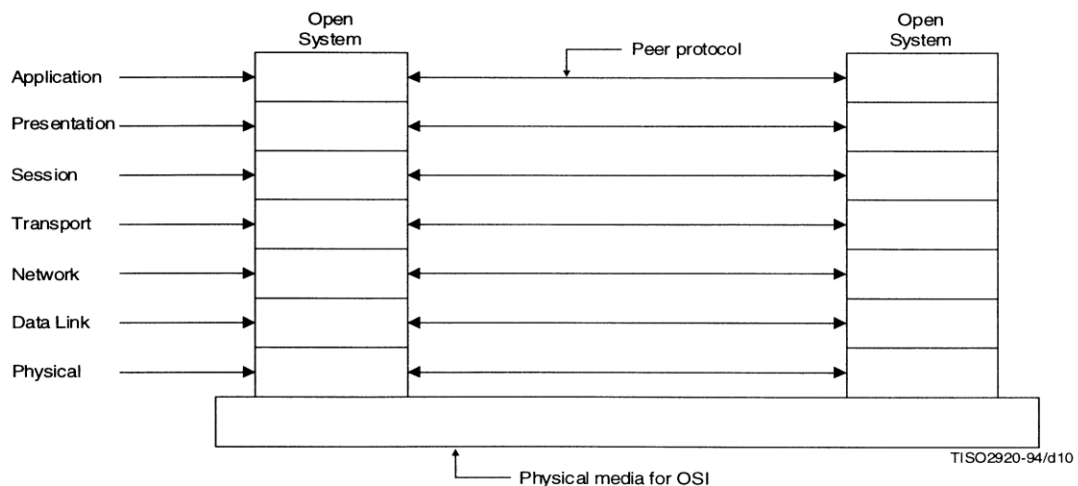


Figura 7. Estructura del Modelo OSI. [8].

Estructura del modelo OSI:

Capa de aplicación (Nº 7): le permite acceder a los servicios de las demás capas y define los protocolos que utilizan las capas para intercambiar datos [9].

Capa de presentación (N° 6): El objetivo de este nivel es de encargarse de la representación de la información, este nivel permite además cifrar los datos y/o comprimirlos [9].

Capa de sesión (N° 5): permite a la capa 6 organizar y sincronizar el intercambio de datos [9].

Capa de transporte (N° 4): se encarga de transportar los paquetes de información desde el emisor hasta el receptor [9].

Capa de red (N° 3): Se encarga de establecer la ruta de los datos hasta su receptor final [9].

Capa de enlace de datos (N° 2): Gestiona la creación y cierre de conexiones [9].

Capa física (N° 1): en ella se definen los medios físicos sobre los cuales viajará la información así como las características eléctricas de la señal, lo cual permite el flujo de datos entre los sistemas [9].

Red de Campo.

Es un sistema que permite que se comuniquen los sensores y actuadores con los controladores, entre las partes de la red de campo podemos mencionar:

La capa física corresponde al sistema de cableado que soporta la comunicación entre los distintos dispositivos conectados a la misma, las señales a enviar por el medio pueden ser eléctricas u ópticas, y dependiendo de la extensión y

complejidad de la planta a controlarse pueden escogerse entre las siguientes topologías:

Punto a punto: esta topología solo permite comunicar dos dispositivos, el maestro y el esclavo, entre este tipo de arquitectura podemos mencionar EIA/TIA RS-232C, 4-20 mA, 0-10 Vdc.

Tipo Bus: esta estructura consiste en un cable (par trenzado) que conecta todos los puertos de los dispositivos de campo sin derivar la conexión, entre ellos podemos mencionar EIA/TIA RS-485.

Tipo Árbol: es una topología basada en la arquitectura de tipo bus a la cual se le permite hacer derivaciones en el bus de campo, entre ellos se encuentra BacNet.

Con respecto al lenguaje que emplean los equipos en la red podemos mencionar los siguientes:

Hart: Es un protocolo que permite la comunicación de un equipo maestro con un instrumento de campo sobre la red 4-20 mA, al modular digitalmente la señal de corriente con los datos de configuración y parámetros como las medidas de proceso a una velocidad máxima de 1200 bps.

Modbus: Creado por Modicon fue el primer sistema que permitió la comunicación entre PLCs, debido a su simplicidad y especificación abierta, actualmente es ampliamente utilizado por diferentes fabricantes motivado a que su implementación es fácil y requiere poco desarrollo. La manera en que se comunican los dispositivos es en modo maestro-esclavo, es decir, los dispositivos de campo únicamente enviarán información por la red solo cuando el equipo maestro se lo solicite. Dentro del protocolo existen dos variantes en el modo de comunicación y son

debidas a la forma en que se codifican los mensajes, así pues, en el caso que la comunicación sea plana (sin codificar) se conocerá como Modbus RTU y en caso de emplear codificación (código ASCII) se le llama Modbus ASCII.

BacNet: es un protocolo diseñado para integrar los dispositivos de campo en edificios inteligentes, el mismo incorpora funciones que permiten a los dispositivos anunciarse en la red así como a los equipos controladores preguntar por todos aquellos existentes en la misma, otra función importante incorporada es la comunicación por vía de excepción, es decir, el dispositivo de campo interrumpe la comunicación periódica para informar de cambios en la variable registrada.

GATEWAY o Puerta de Enlace.

Es un dispositivo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes, para ello permite la mediación de información entre dispositivos que emplean capas físicas y protocolos de comunicación distintos, a fin de que pueda existir una comunicación entre dispositivos conectados a cada red, su uso es necesario en la integración de dispositivos de distintas tecnologías a una misma red de control, o por características de la planta sea necesario hacer cambios entre distintos medios de comunicación (RS485-fibra óptica-RS485).

Ciudad Universitaria de Caracas [10]

La Ciudad Universitaria de Caracas (CUC) comienza a ser construida en 1950 para que sea sede de la Universidad Central de Venezuela. El Arquitecto Carlos Raúl Villanueva la diseña como un espacio apto para el estudio y el descanso, en el cual junto con “*un conjunto de artistas destacados*” crean una obra en donde se mezclan el arte y la funcionalidad de los edificios.

El tema de cada estructura está íntimamente ligado con la función que cumplirá dentro de la UCV a tal punto que se crean espacios para el *estudio, para el*

descanso y la recreación , siendo el más emblemático el Complejo Directivo Cultural.

El Complejo está conformado por el Edificio del Rectorado, Aula Magna, Sala de Conciertos, Paraninfo y Biblioteca Central, todas estas estructuras conectadas por un área común denominada la Plaza Cubierta abarcando una área aproximada de 37.000 m², adyacentes a esta también se encuentra el Edificio de Museo y el Edificio de Comunicaciones, todo este conjunto de edificaciones albergan numerosas obras de arte de reconocidos artistas, tales como: (el Legerd, El Pastor de Nubes, las Nubes de Calder, etc), denominado como “*La Síntesis de Las Artes*”.

A partir del año 2000 se declara Patrimonio Mundial la Ciudad Universitaria de Caracas y es creado el Consejo de Preservación y Desarrollo (COPRED) como el ente que vela por la conservación de la misma como *Patrimonio Moderno*. Para ello se elaboran normas que regulan la intervención en cualquier estructura de la CUC de manera de preservar su originalidad y belleza.

Cabe destacar que cada ambiente del CDC requiere ser climatizado de manera distinta, esto motivado a que el desarrollo volumétrico de cada uno cumple una función distinta estando ubicados desde edificios con pisos ventilados (piso 12 de Biblioteca Central) hasta pisos ciegos destinados para almacenar colecciones de libros o similares, sin obviar ambientes como el Aula Magna y la Sala de Conciertos, lo cual genera la necesidad de establecer estrategias de control de temperatura y humedad distintas en cada caso, según estimaciones de carga térmica esta ronda las 1300 toneladas de refrigeración [11].

CAPÍTULO II

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.

En el presente se realizó el registro de las características técnicas y de comunicación de los distintos equipos, actuadores y sensores instalados en el sistema, para ello se revisó en primer lugar el Proyecto de Instalaciones Mecánicas del Sistema de Climatización del Complejo Directivo Cultural de la UCV [11], en el mismo se especificó que para el funcionamiento del sistema de producción de agua helada se debe implementar un sistema de control directo que regule la coordinación de los distintos subsistemas, además de las variables electromecánicas mínimas a supervisar.

Lista de Variables:

A continuación se planteó una lista de variables a supervisar en todos los equipos del sistema de climatización siendo estas agrupadas en 2 renglones:

Variables Eléctricas:

Tensión por Fase.

Corriente por Fase.

Factor de Potencia.

Frecuencia de Operación (solo en caso de motores accionados por VSF).

Variables Mecánicas:

Horas de Operación.

Presión de Agua de Entrada.

Presión de Agua de Salida.

Temperatura de Agua de Entrada.

Temperatura de Agua de Salida.

Caudal de Agua.

Variables Misceláneas en Función de Máquinas:

Así mismo dependiendo de la máquina asociada se agregan otras variables o eventos que se describen a continuación.

Chillers:

Variables Mecánicas en los circuitos de agua helada y de condensación.

Presión de Aceite de lubricación.

Presión de refrigerante.

Variables Eléctricas.

Eventos y averías en la máquina.

Bombas de Agua:

Variables Mecánicas.

Variables Eléctricas.

Eventos y averías en la máquina.

Torres de Enfriamiento:

Variables Mecánicas.

Variables Eléctricas.

Eventos y Averías en la Máquina.

Flujo de Agua de Purga y Reposición.

Niveles de Agua en piscinas de Torres de Enfriamiento.

PH de Agua de Condensación y de Agua de Reposición.

Unidades de Manejo de Aire (UMAs):

Variables Mecánicas.

Temperatura del aire de Retorno.

Temperatura del aire Exterior.

Temperatura del aire a la entrada del serpentín.

Temperatura del aire a la salida del serpentín.

Caudales de aire de suministro y de aire exterior.

Humedad relativa del retorno del aire.

Diferencial de presión en los filtros de aire.

Variables Eléctricas.

Eventos y averías en la máquina.

Fancoils:

Variables Mecánicas.

Temperatura del aire de Retorno.

Variables Eléctricas.

Eventos y averías en la máquina.

Características Equipos proyectados en el SPAH:

Con base al proyecto también se desprenden las características de equipos que integran al SPAH del CDC siendo según el tipo de equipo las expuestas en las Tablas 1, 2 y 3.

Chillers:

Tabla 1. Características de Interés de los Chillers [11].

Ítem	Unidad
Cantidad	4
Capacidad	400 tr
Caudal de Agua Fría	960 gpm
Caudal de Agua de Condensación	1200 gpm
Caídas de Presión de Agua	15 hpdt
Temp. Salida Agua Helada	42 °F ~ 5,6 °C
Temp. Entrada Agua Helada	52 °F ~ 11,1 °C
Temp. Salida Agua Condensación	95 °F ~ 35,0 °C
Temp. Entrada Agua Condensación	85 °F ~ 29,4 °C
Temp. de Aire Exterior	90 °F ~ 32,2 °C
Potencia Eléctrica	250 kW
Eficiencia Mínima	0.62 kW/tr
Tensión Alimentación	480 Vac / 3 Fases / 60 Hz.

Bombas de Agua:

Tabla 2. Características de Interés de las Bombas de Agua [11].

Ítem	Biblioteca Central BSBC 1-2	Salón de Conciertos BSSC 1-2	Aula Magna BSAM 1-2	Paraninfo BSPA 1-2	Rectorado, Comunicaciones y Museo BSRMP 1-2	Bombas de Circuito Primario BP 1,2,3,4	Bombas de Agua de Condensación BC 1,2,3,4
Cantidad	2	2	2	2	2	4	4
Caudal [gpm]	1640	130	900	100	580	960	1200
Presión [hpdt]	135	105	135	130	185	35	110
Velocidad [rpm]	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750
Potencia [hp]	100	7.5	50	7.5	50	20	60
Tensión Alimentación [Vac]	480	480	480	480	480	480	480
Nro. Fases	3	3	3	3	3	3	3
Frecuencia [Hz]	60	60	60	60	60	60	60

En segunda instancia tenemos el Proyecto de Instalaciones Eléctricas del Sistema de Producción de Agua Helada del Complejo Directivo Cultural de la UCV [12], en el mismo se contempla que la distribución de potencia se realizará mediante 3 centros de control de motores (CCM), los cuales son alimentados desde 2 transformadores (TX-1 y TX-2) de 1000 kVA cada uno, los CCM I y CCM II son alimentados desde TX-1, mientras que el CCM III posee una alimentación exclusiva del TX-2.

Las cargas asociadas al CCM I serán 2 torres de enfriamiento, 2 bombas de condensación, 2 bombas principales y 2 Chillers cubriendo un total máximo de 800 hp, las que se conectarán al CCM II (500 hp) serán 4 bombas secundarias y dos tableros de distribución de potencia para las UMAs. El CCM III (1000 hp) alimentará el resto del sistema (2 Chillers, 2 bombas de condensación, 2 bombas primarias, 6 bombas secundarias, 2 torres de enfriamiento y 1 tablero de distribución de potencia para las UMAs) [12].

En el mismo proyecto se especificó que el sistema de comunicación para el SCADA (Sistema de adquisición de datos y control supervisorio – *Supervisory Control And Data Acquisition*) será de libre distribución para evitar por parte del cliente la adquisición de licencias para el uso de algún determinado protocolo además que expande las posibilidades de integración de distintos fabricantes al sistema [12].

Diseño de Registro de Levantamiento:

En segunda instancia para la realización del levantamiento se diseñó una hoja de registro para recabar durante el levantamiento todos los datos de interés de los equipos instalados del SPAH, así pues se hace énfasis en las características eléctricas y posibilidades de comunicación para ser integrado a un sistema de control, además también se recopilan las características mecánicas de los mismos (caudal de bombas).

Teniendo en cuenta lo expuesto y la particularidad de los dispositivos de campo existentes se plantea plasmar en las hojas de registro lo siguiente:

Tabla 3. Características de Interés de las UMAs [11] [12].

Datos de Interés	Computas	Actuadores	CCM y Celdas	Motores (Chillers, Bombas y Ventiladores)	Tableros y Cajas de Control	Arrancadores Suaves y Variadores de Velocidad	Sensores de Temperatura	Torres de Enfriamiento
Marca	X	X	X	X	X	X	X	X
Modelo	X	X	X	X	X	X	X	X
Serial	X	X	X	X	X	X	X	X
Ubicación	X	X	X	X	X	X	X	X
Código de Referencia	X	X	X	X	X	X	X	X
Observaciones	X	X	X	X	X	X	X	X
Recomendaciones	X	X	X	X	X	X	X	X
Fecha de Registro	X	X	X	X	X	X	X	X
Tamaño	X							
Flujo Nominal	X	X		X				X
Alimentación	X	X	X	X	X	X	X	X
Marca Actuador	X	X						
Modelo Actuador	X	X						
Serial Actuador	X	X						
Características Transformador	X	X						
Tensión Alimentación				X		X		
Corriente				X		X		
Potencia				X		X		
rpm				X				
Locked Rotor Ampere LRA				X				
Factor de Potencia FP				X				
Elevación de Temperatura				X				
Tipo de Arranque				X				
Controlador Asociado				X				
Protección Local				X				
Motor Asociado						X		
Características de Interruptores			X		X			

Datos de Interés	Computas	Actuadores	CCM y Celdas	Motores (Chillers, Bombas y Ventiladores)	Tableros y Cajas de Control	Arrancadores Suaves y Variadores de Velocidad	Sensores de Temperatura	Torres de Enfriamiento
Comunicación	X	X	X	X	X	X	X	X
Imagen Referencial	X	X	X	X	X	X	X	X
Imágenes de Detalle	X	X	X	X	X	X	X	X

Cabe destacar que a cada equipo se le asigna una hoja de registro y se genera un código de levantamiento el cual cumple con la siguiente estructura alfanumérica:

Código de levantamiento: WXXXXXXYYYZZZNN

Donde:

W: Número de Elemento, U se refiere a que es único en ambiente.

XXXXXX: Ubicación, puede variar desde 2 a 5 caracteres

P12BC: Piso 12 de Biblioteca Central.

SBC: Sótano de Biblioteca Central.

TE: Torre de Enfriamiento.

UNP12BC: Cuarto de UMA Norte Piso 12 de Biblioteca Central.

USP12BC: Cuarto de UMA Sur Piso 12 de Biblioteca Central.

SAM: Sótano de Aula Magna.

SSC: Sótano de Sala de Conciertos.

YYY: Se refiere a la ubicación dentro del ambiente, indicando si el equipo se encuentra dentro de una envolvente, fuera de una envolvente (a nivel de suelo o adosado en pared o techo), sobre un techo falso.

FDE: Fuera de envolvente, el equipo no se encuentra dentro de una envolvente se puede ubicar en el suelo, o adosado en la pared o techo.

CCN: el equipo se encuentra en la caja de control número N.

TCN: el equipo se encuentra en el tablero de control número N.

STF: el equipo se encuentra sobre el techo falso.

CCMX: Centro de Control de Motores Módulo X.

SB1PZ: Módulo 3 de Celda Principal contiene tablero con servicios generales en 480 vac.

SB1DCPS: Módulo 2 de Celda Principal, contiene los interruptores NSX800 de CCMI y CCMII.

SM1MPPP: Módulo principal de Celda Principal (contiene el interruptor NSX1600 del TX1).

ZZZ: Se refiere al equipo a describir.

VFD: Variador de Velocidad.

SMC: Arrancador suave (*Soft Motor Controler*)

BC: Bomba de Condensación.

BP: Bomba Principal.

BSAM: Bomba Secundaria Aula Magna.

BSP: Bomba Secundaria Paraninfo.

ITM: Interruptor Termomagnético.

CHI: Chiller.

TDE: Torre de enfriamiento.

SVX: Sección vertical del CCM X.

MOT: Motor

CVV: Caja de Volumen Variable.

UMAK: Unidad Manejadora de Aire Número K

K: se refiere al número de equipo, U denota único en entorno

NN: Se refiere al número del equipo a registrar, cuando la cantidad de equipos es mayor a 9 dentro de un mismo ambiente las numeraciones menores a 9 les antecederá un 0.

Luego teniendo en cuenta la información a plasmar en las fichas de registro y valiéndose del software MS Publisher®, se diseñan unos formatos que condensan la información necesaria de cada equipo instalado del SPAH en el CDC de la UCV. Ver Figura 7 y Anexo1 para detalles en las fichas de levantamiento.

Ficha de Registro de Equipos en Servicio en Sistema de Producción de Agua Helada del Complejo Directivo Cultural de la Universidad Central de Venezuela.			
Ubicación:		Motor:	
		Foto Referencial	
Descripción:		Corriente Nominal [A]:	
Marca:		L.R.A.:	
Modelo:		F.P.:	
Serial:		Eficiencia:	
Potencia [W]:		Elevación de Temperatura [°C]:	
R.P.M.:		Tipo de arranque:	
Flujo Nominal [GPM]:		Variador de Velocidad Asociado:	
Tensión Nominal [V]:		Protección Local:	
Imágenes Detalle:			
Observaciones:			
Recomendaciones:			
Inventariado por:		Fecha de registro:	
Wladimir José Gondurak Jaimes			

Figura 8. Modelo de Ficha de Levantamiento de Motores.

Una vez hecho el recorrido por toda la extensión del SPAH y recabado los datos de interés de los equipos instalados, se procede a vaciar la información en una base de datos creada en MS Excel® la cual agrupa de manera ordenada los datos de interés que en combinación de una función de MS Publisher® llamada *combinar cartas* se puede generar todas las fichas de registro producto del levantamiento en campo. Ver Anexo 2.

Resultados Levantamiento:

Como subproducto del levantamiento se tienen los siguientes resultados:

Grafico N° 1 se observa que la mayoría de los interruptores termomagnéticos son capaces de comunicarse mediante el uso de E/S digitales, en segundo lugar se encuentran los sensores de temperatura y sensores de caudal de las cajas de volumen variable, en tercer lugar se encuentran los equipos que pueden comunicarse empleando Modbus – 485 siendo estos los registradores de carga, variadores de velocidad y arrancadores suaves (estos últimos requieren la instalación de accesorios de comunicación), por último se tiene a los Chillers los cuales por restricciones del fabricante YORK solo soportan los protocolos Bacnet y Lontalk.

:

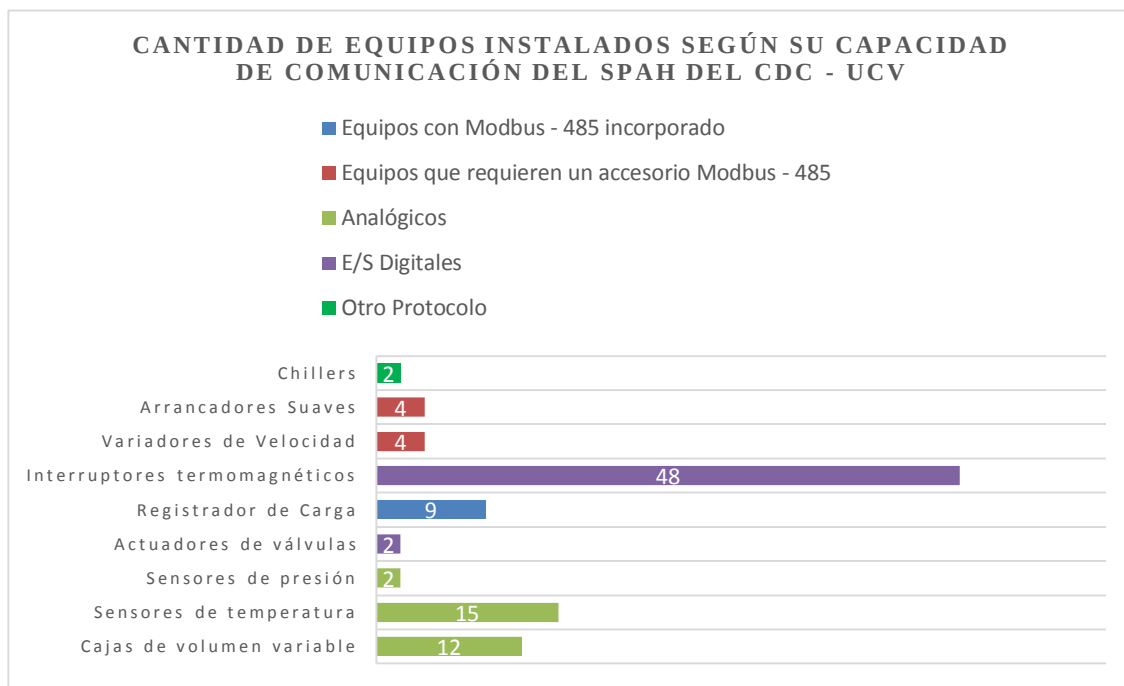


Gráfico N° 1. Cantidad de equipos instalados según su capacidad de comunicación del SPAH del CDC – UCV.

A continuación en el gráfico N° 2 se aprecia que los equipos que requieren ser integrados al SCADA (Arrancadores suaves, variadores de velocidad, registradores de carga y Chillers) en su mayoría son capaces de comunicarse mediante Modbus – 485, sin embargo, los Chillers no poseen por restricción del fabricante la compatibilidad con ese protocolo siendo necesario para su integración al sistema de supervisión de Gateway los cuales compatibilizarían los protocolos soportados por los Chillers y Modbus – 485.

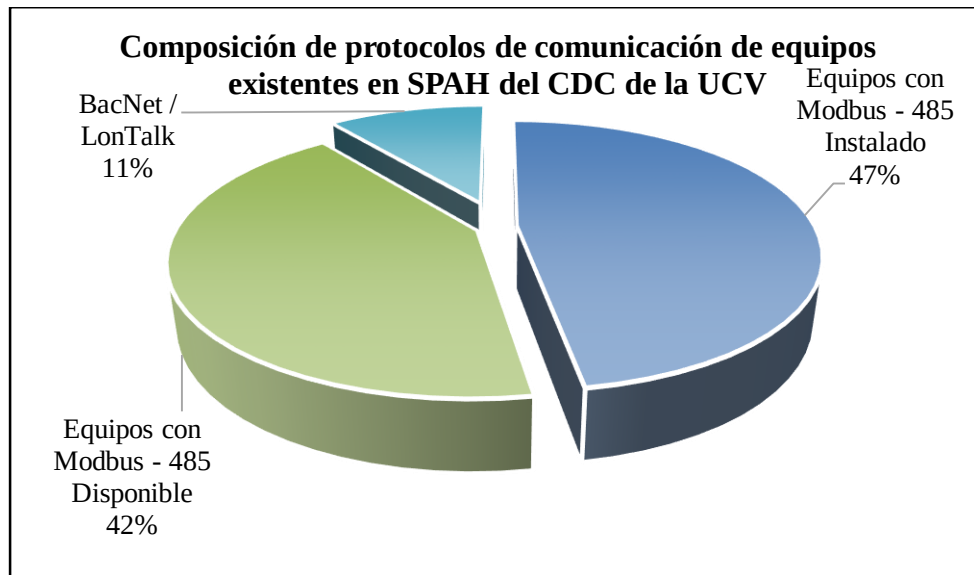


Gráfico 2. Composición de protocolos de comunicación de equipos existentes en SPAH del CDC de la UCV.

Se puede observar a partir de la Figura 8 que el proyecto del sistema de producción de agua helada para el CUC de la UCV está ejecutado en aproximadamente un 50 % con respecto a los equipos de generación de agua helada, sin embargo, en lo que respecta a la instrumentación para la integración a un sistema de control y supervisión es evidente que hace falta instalar toda la estructura de control, comunicación y adquisición de datos exceptuando los registradores de carga de los CCM.

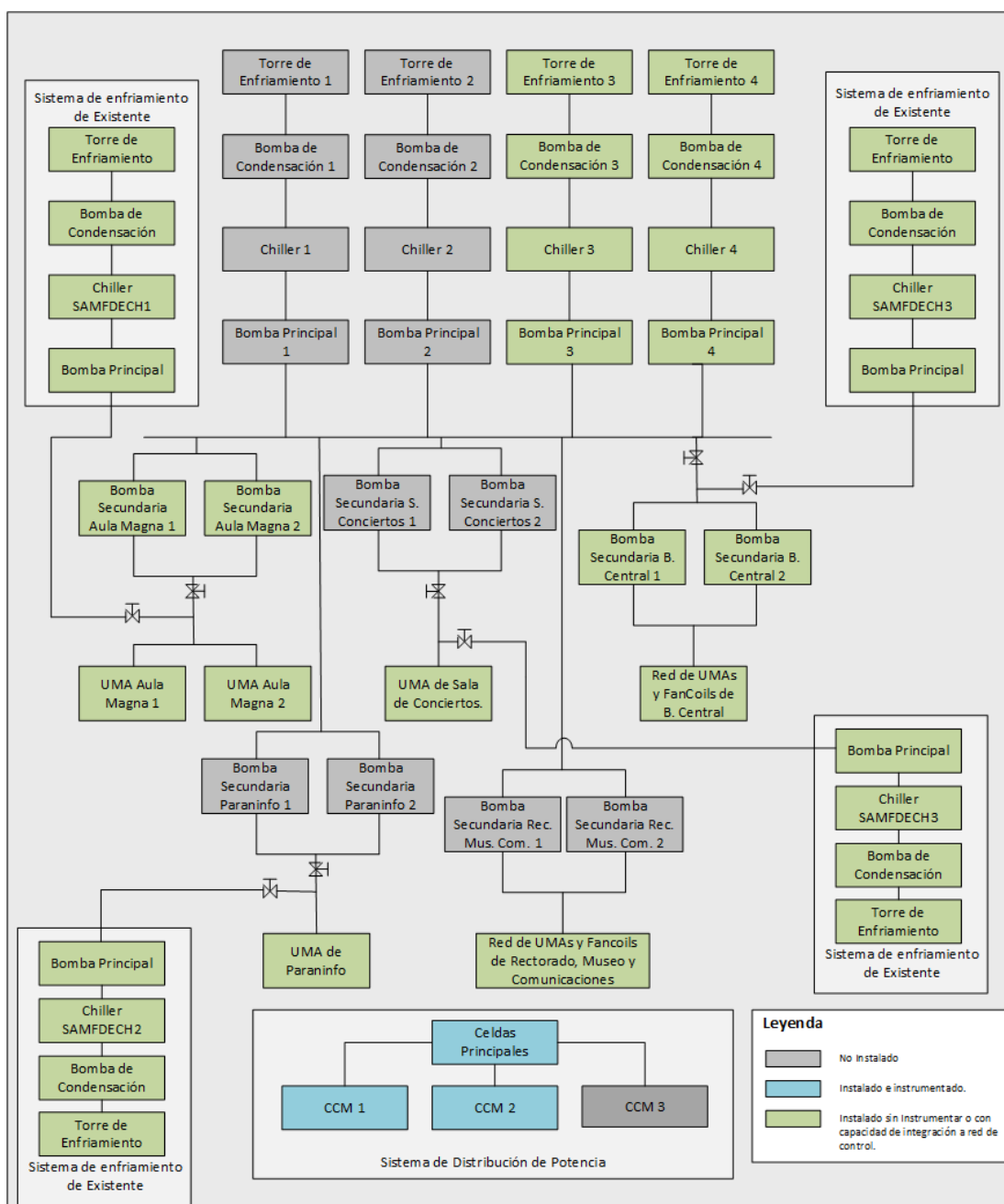


Figura 9. Esquema de equipos instalados en el proyecto del Sistema de Climatización del Complejo Directivo Cultural de la UCV.

En la actualidad existe un sistema de producción de agua helada el cual está conformado por un Chiller 640 tr instalado alrededor del año 1950 (Ver anexo 2, Ficha SAMFDECH1) dedicado a climatizar el Aula Magna y otro puesto en

funcionamiento en la década del 90 (sustituyendo uno más antiguo que data también de 1950) con una capacidad de 145 tr dedicado exclusivamente a los pisos ciegos (del 2 al 9) del edificio de Biblioteca Central [13] (Ver anexo 2 ficha SBCFDECH1) los cuales son los que climatizan en contingencias parte del CDC, mediante un juego de válvulas en las tuberías de agua helada del complejo.

Cabe destacar que el sistema no puede operar de manera paralela al proyecto motivado a que es necesario la modificación física de los circuitos de agua de condensación, además que el sistema de distribución de potencia no fue concebido para ello [12].

Una vez culminado el proyecto del nuevo SPAH para el CDC de la UCV se prevé que el existente sirva de respaldo a contingencias cuya operación se llevará a cabo por personal de operación del mismo, esto con el fin de poder funcionar inclusive ante averías en el sistema de control y de distribución de potencia del sistema principal.

CAPÍTULO III

EQUIPOS Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

En el presente se determinaron los equipos y protocolos de comunicación necesarios para la supervisión y control del sistema de climatización, para ello en base al levantamiento y evaluación de las posibilidades de comunicación de los dispositivos de campo y del concepto del SCADA para el Sistema de Climatización del CDC - UCV se genera el esquema expuesto en la Figura 9:

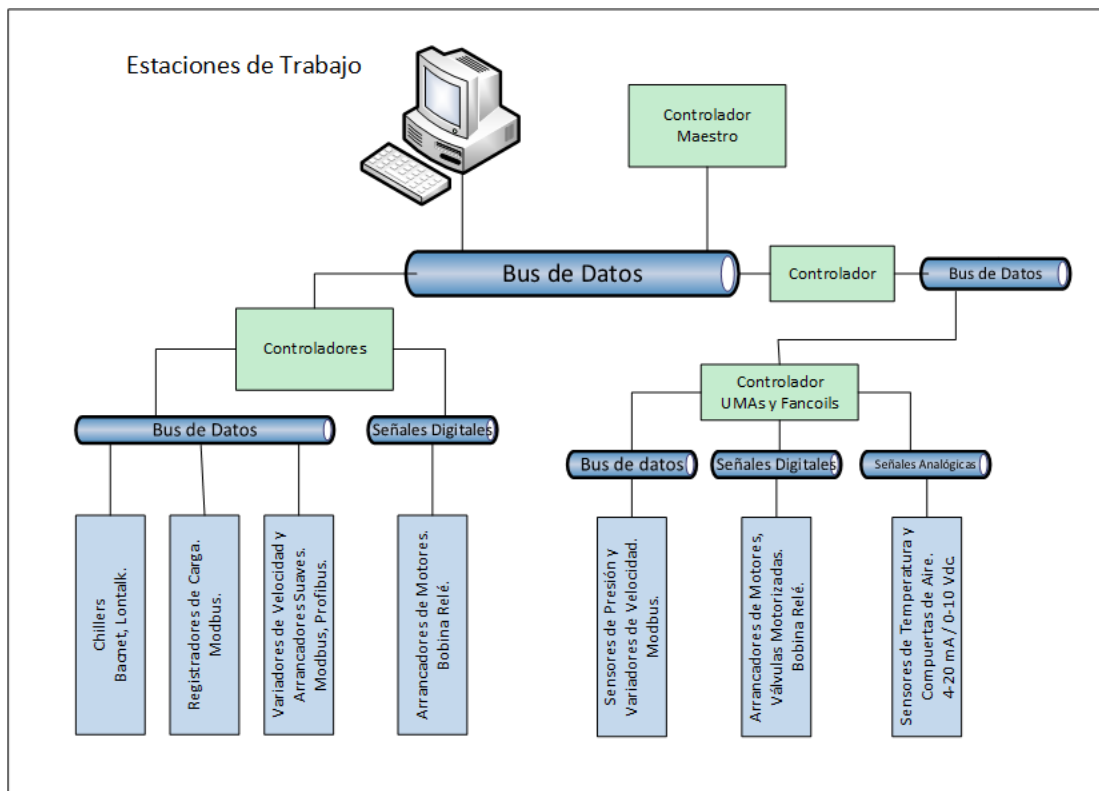


Figura 10. Esquema de protocolos de comunicación soportados por los distintos equipos de campo, control y supervisión del SPAH del CDC-UCV.

En la Figura 8 se observa que los dispositivos de campo pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de comunicación como aquellos que requieren de un protocolo y un canal de comunicación para enviar los datos leídos en campo a sus controladores (multipunto) entre ellos se incluyen a los variadores de velocidad, arrancadores suaves, Chillers, registradores de carga, sensores de caudal, temperatura, presión, pH estos dispositivos a través del canal comunicación reportan el valor de la variable; en el otro grupo se encuentran aquellos dispositivos que el controlador interpreta una variable digital o analógica enviada por los dispositivos de campo mediante estándares de comunicación digitales y analógicos tales como 0/5 Vdc en el primer caso o 0-10Vdc en el segundo caso (punto a punto), agrupando en esta categoría a las válvulas motorizadas, contactos de los dispositivos de protección y maniobra eléctrica y los sensores de temperatura de aire.

Se puede observar también que la mayoría de los dispositivos de campo multipunto del SPAH soporta Modbus como protocolo de comunicación exceptuando el caso de los Chillers los cuales solo son capaces de comunicarse empleando BacNet o Lontalk. En el caso de los dispositivos punto a punto del sistema estos en su mayoría soportan tanto 4-20 mA como 0-10Vdc en el caso de los analógicos y 0-24 Vdc en caso de los digitales.

Para la selección del protocolo de comunicación a emplear en las redes de campo se realiza la siguiente tabla comparativa entre los distintos protocolos de comunicación soportados por los equipos instalados:

Tabla 4. Protocolos de comunicación soportados por los dispositivos de campo instalados en el Sistema de Climatización del CDC-UCV.

	Modbus	Profibus	BacNet	Lontalk	Señales Digitales	0-10Vdc y 4-20mA.
Licencia de Uso	Modicon (Libre)	Bosh-Siemens (Libre)	Ashare (Libre)	Echelon Corporation.	No	No
Velocidad Soportada	9,6 kbps -12 Mbps RS-485, hasta 1000 en Ethernet.	9,6 kbps -12 Mbps RS-485, hasta 1000 en Ethernet.	78 kbps RS-485, hasta 1000 en Ethernet.	1,25 mbps RS-485, 1000 Ethernet.	NA	NA
Punto a Punto	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Multipunto	Si	Si	Si	Si	No	No
Medios de Comunicación soportados.	Rs-232, Rs-485, Ethernet, Fibra Óptica.	Rs-232, Rs-485, Ethernet, Fibra Óptica.	Rs-232, Rs-485, Ethernet, Fibra Óptica.	Rs-232, Rs-485, Ethernet, Fibra Óptica.	Par Telefónico.	Par Telefónico.
Implementación	Muy simple, bajas capacidades de procesamiento para comunicación.	Requiere de equipos con alta capacidad de procesamiento para a la comunicación.	Requiere de equipos con alta capacidad de procesamiento para a la comunicación.	Requiere adquisición de infraestructura de red y software para implementación.	Simple en reducidos equipos de campo.	Simple en reducidos equipos de campo.

Para la selección del protocolo de comunicación adicionalmente se requiere considerar lo siguiente:

El protocolo de comunicación será un protocolo abierto y del menor costo de adquisición.

Las variables y procesos controlados y supervisados son en su mayoría de cambios lentos (procesos térmicos), además de no ser de especial cuidado en su control y supervisión, solo en el caso de las variables eléctricas que será necesario un tratamiento más rápido para evitar averías en los equipos.

La capa física para la comunicación cumplirá con los requisitos para soportar la comunicación entre los equipos de manera confiable.

Se respetara la integridad de las instalaciones físicas del CDC-UCV evitando romper paredes u otras actividades de destruyan el valor arquitectónico de la UCV.

Las canalizaciones a construir serán a prueba de agua (tubería eléctrica roscada y tubería flexible hermética).

Teniendo en cuenta los lineamientos de diseño y lo expuesto en la Tabla 4 se establece como protocolo de comunicación en las redes de campo y control Modbus, considerando su fácil implementación por la simplicidad en el envío de tramas de datos entre los equipos además de no ser necesario la incorporación de algoritmos complejos en la verificación de la red de información, otro aspecto importante es que no es necesario crear sistemas de control distribuido complejos dentro del Sistema de Climatización motivado a la simplicidad del mismo. En el caso de integrar los Chillers al sistema de control y supervisión será necesario la implementación de un Gateway Modbus a BacNet.

Con respecto a las capas físicas de las redes de comunicación evaluamos las siguientes características en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación entre los principales medios de comunicación posibles a implementar en la red de campo y control del SPAH del CDC-UCV.

	RS-232	RS-485	Ethernet	Fibra Óptica
Velocidad	Hasta 19,2 kBps.	Hasta 10MBps@10m	10/100/1000 MBps	Hasta 155 MBps
Arquitectura	Punto a Punto	Multipunto: Bus, Estrella, Árbol.	Multipunto: Estrella, Árbol.	Multipunto: Estrella, Árbol.
Implementación	Solo soporta 2 dispositivos.	Sencilla, se requiere cuidado en el acople de impedancias.	Requiere de dispositivos para soportar la red de comunicación.	Costosa, requiere de dispositivos altamente especializados para soportar la red de comunicación.

Considerando las características expuestas en la Tabla 5 y las premisas de diseño de la red de comunicación se escoge como capa física para la red de campo el par trenzado RS-485 en vista de su bajo costo de implementación, en el caso de la red de control teniendo en cuenta que los dispositivos de control se encuentran relativamente cerca (dentro de un mismo cuarto en los CCM) y que a partir de allí debe integrarse a redes de computadoras para integrar el sistema al SCADA se usará como medio de comunicación Ethernet el cual permite crear una red TCP/IP sobre la cual los controladores se comunicarán empleando Modbus además que el computador huésped del software del SCADA podrá adquirir los datos conectándose directamente a esa red.

En el caso de los dispositivos que soportan comunicación analógica se usará 0-10Vdc para aquellos sensores de temperatura y presión del sistema de UMAs y Fancoils, en el caso de las variables digitales se usará en todo caso 0/24Vdc esto a fin de facilitar la implementación motivado a que la tensión de 24 Vdc es empleada en la alimentación de los dispositivos de campo en las redes Modbus.

En ese sentido el esquema de comunicación de los dispositivos de campo se presenta en la Figura 10.

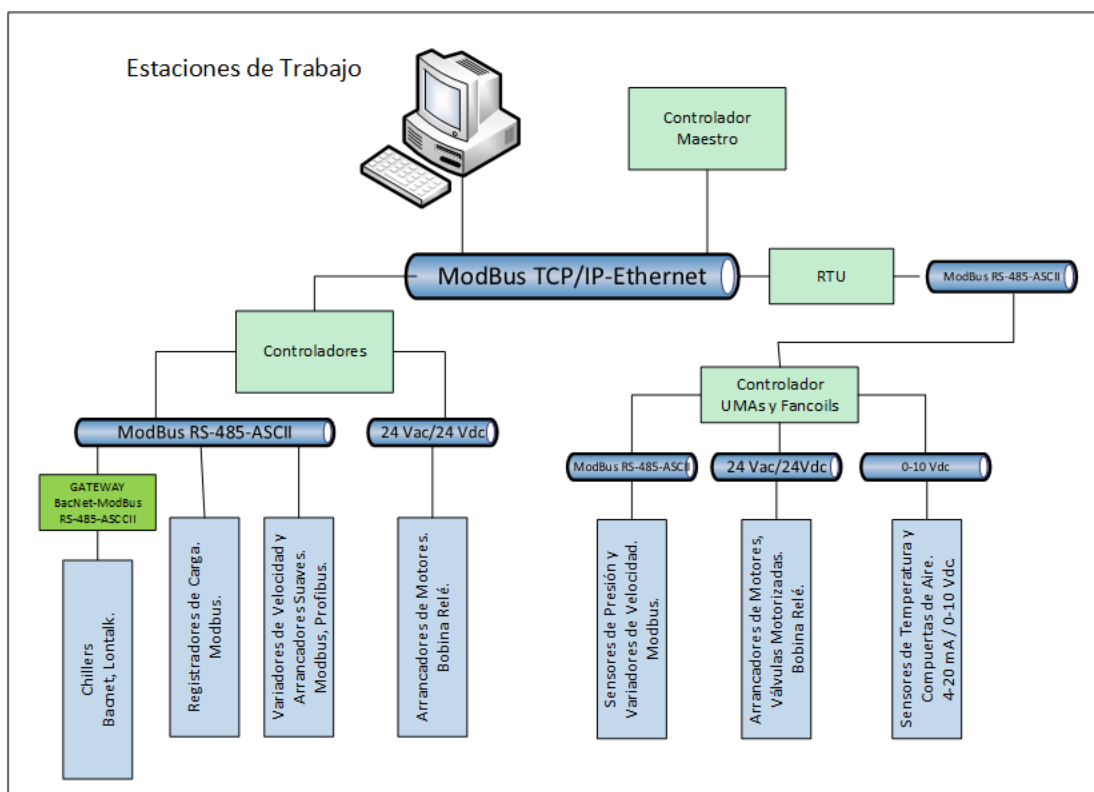


Figura 11. Esquema de comunicación de los equipos de campo, control y supervisión del SPAH del CDC-UCV

A partir de la estructura de la red de campo y control y de los requerimientos del proyecto de instalaciones mecánicas, se elabora la Tabla 6 para determinar de manera aproximada la cantidad de datos a recaudar durante el muestreo de información.

Tabla 6. Cantidad de Datos a Recaudar en Redes de Campo.

Sistema de Producción de Agua Helada.									
Equipos	Nro. de Equipos	Cantidad de Variables		Tamaño de Trama MODBUS-485-ASCII		Subtotal Información [Bytes]	Reserva en Información 20%	Total Información [Bytes]	
		Analogías	Digitales	Encabezado y otros	Datos				
SPA	Torres de Enfriamiento	4	41	4	9	2	495	99	594
	Bomba de Condensación	4	81	4	9	2	935	187	1122
	Chiller	4	84	4	9	2	968	194	1162
	Bombas Primarias	4	40	4	9	2	484	97	581
Aula Magna	Bombas Secundarias	2	10	1	9	2	242	49	291
	UMAS	2	40	2	9	2	924	185	1109
	FC	0	3	2	9	2	0	0	0
	Misceláneas	0	7	1	9	2	0	0	0
Biblioteca Central	Bombas Secundarias	2	10	1	9	2	242	49	291
	UMAS	28	40	2	9	2	12936	2588	15524
	FC	19	3	2	9	2	1045	209	1254
	Misceláneas	1	7	1	9	2	88	18	106
Sala de Conciertos	Bombas Secundarias	2	10	1	9	2	242	49	291
	UMAS	1	40	2	9	2	462	93	555
	FC	0	3	2	9	2	0	0	0
	Misceláneas	0	7	1	9	2	0	0	0
Paraninfo	Bombas Secundarias	2	10	1	9	2	242	49	291
	UMAS	1	40	2	9	2	462	93	555
	FC	0	3	2	9	2	0	0	0
	Misceláneas	0	7	1	9	2	0	0	0
Rectorado, Museo y Comunicaciones	Bombas Secundarias	2	10	1	9	2	242	49	291
	UMAS	18	40	2	9	2	8316	1664	9980
	FC	24	3	2	9	2	1320	264	1584
	Misceláneas	1	7	1	9	2	88	18	106
Celdas de Fuerza	CCM 1	1	17	60	9	2	847	170	1017
	CCM 2	1	17	60	9	2	847	170	1017
	CCM 3	1	17	60	9	2	847	170	1017
	CELDA Principal	1	17	60	9	2	847	170	1017
								Total [Bytes]	35.687

Si consideramos que en las redes de campo del SPAH la información es recaudada en 100 ms, en los sistemas de UMAs y Fancoils en 1200 ms y en las redes

de control 100 ms, además de las estructuras de las tramas Modbus sobre buses RS-485 y Modbus-TCP/IP Ethernet, es posible determinar las velocidades de comunicación requeridas en los buses de campo y control. Así pues tenemos en la Tabla 7.

Tabla 7. Velocidades de Transferencia en Redes de Campo y Control.

	Red de Campo - Modbus-485-ASCII (100 ms -SPA, 1200 ms en CAH)			Red de Control - Modbus-TCP/IP (100 ms)		Total Datos [Bytes]
	Total Datos	Velocidad de datos [kbps]	Velocidades de datos normalizadas Kbps]	Encabezado y otros TCP-IP-ETHERNET	Datos	
Torres de Enfriamiento	594	47,52	56	58	11	12420
Bombas de Condensación	1122	89,76	115,2	58	11	23460
Chiller	1162	92,96	115,2	58	11	24288
Bombas Primarias	581	46,48	56	58	11	12144
Aula Magna	1400	9,33	9,6	58	11	7314
Biblioteca Central	17175	114,50	115,2	58	11	89769
Sala de Conciertos	846	5,64	9,6	58	11	4416
Paraninfo	846	5,64	9,6	58	11	4416
Rectorado, Museo, Comunicaciones	11961	79,74	115,2	58	11	62514
Celdas de Fuerza	4068	27,12	28,8	58	11	21252
TOTAL [Byte]						261993
Velocidad de transferencia [MBps]						21
Velocidad normalizada de transferencia [MBps]						100

En la Tabla 8 se presentan los resultados de los cálculos de estimación de velocidad de datos en las redes de datos tenemos:

Tabla 8. Resultados de Cálculos en Estimaciones de Velocidad de Transferencia de Datos en Redes de Campo y Control.

	Velocidades de datos normalizadas
Torres de Enfriamiento	56 kBps
Bombas de Condensación	115,2 kBps
Chiller	115,2 kBps
Bombas Primarias	56 kBps
Aula Magna	9,6 kBps
Biblioteca Central	115,2 kBps
Sala de Conciertos	9,6 kBps
Paraninfo	9,6 kBps
Rectorado, Museo, Comunicaciones	115,2 kBps
Celdas de Fuerza	28,8 kBps
Red de Control	100 MBps

Como se observa en la tabla 8 existen distintas velocidades de transferencia de datos dependiendo de la sub-red de campo, entonces con el objetivo de normalizar las velocidades de comunicación en las redes se establece que a nivel de control la velocidad de comunicación será de 100 MBps y en nivel de campo de 115,2 kBps, esto permite la intercambiabilidad entre dispositivos de campo (tarjetas de comunicación) en caso de contingencias además de facilitar la adquisición en lotes los instrumentos y demás equipos en las redes del sistema de climatización.

Para el diseño de la estructura de las redes de campo se debe considerar los requisitos eléctricos que deben cumplir los buses que las conforman así como las características eléctricas de los dispositivos maestros y esclavos, para ello nos remitimos a TIE/EIA 485 *Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint Systems* que en ella se establecen las características eléctricas de los generadores y receptores de datos en redes RS-485

además de los parámetros de los conductores a emplear, de allí tenemos las siguiente información importante:

- La tensión diferencial entre los terminales V+ y V- de 1,5 Vdc denotan un “1” lógico.
- La tensión diferencial entre los terminales V+ y V- de -1,5 Vdc denotan un “0” lógico.
- La mínima diferencia de tensión capaz de entender un receptor es 200mV.

Las características eléctricas de los conductores de par trenzado empleadas en redes RS-485 se exponen en la Tabla 9.

Tabla 9. Características Eléctricas de los Conductores de Par Trenzado empleados en Redes RS-485 [14].

Tipo de Conductor	Impedancia Característica [Ω]	Resistencia por unidad de longitud [Ω/m]	Inductancia por unidad de longitud [h/km]	Capacitancia por unidad de longitud [pf/km]	Conductancia por unidad de longitud [σ/km]
A	100	0,057	$4,88 \times 10^{-8}$	$3,66 \times 10^{-12}$	No se especifica
B	120	0,057	$5,27 \times 10^{-8}$	$3,66 \times 10^{-12}$	No se especifica
C	100	0,057	$4,88 \times 10^{-8}$	$4,88 \times 10^{-12}$	No se especifica
D	60	0,057	$3,294 \times 10^{-8}$	$9,15 \times 10^{-12}$	No se especifica
E	120	0.144	$5,27 \times 10^{-8}$	$3,66 \times 10^{-12}$	No se especifica

A partir de las características eléctricas, de la constitución de los conductores y de los rangos de tensión en los dispositivos generadores y receptores de señales se elaboró una metodología para determinar las máximas distancias a las cuales los buses de datos pueden operar a una determinada velocidad de transferencia. Para ello se hizo lo siguiente:

Se planteó modelar el sistema empleando el modelo de parámetros concentrados (Modelo Tee) de un conductor, en el cual el generador y la carga poseen acople de impedancias al canal.

Luego se determinó la expresión cerrada de la tensión sobre la carga (el receptor).

$$\alpha = 20 * \log\left(\frac{V_{carga}}{V_{generador}}\right) = 20 * \log\left(\frac{200mV}{1,5V}\right) = -17,5dB \quad (1)$$

Luego se estableció una relación entre una señal cuadrada y la velocidad de transmisión de datos, creando un criterio para el reconocimiento de la información del otro lado del canal (se empleó el criterio de transferencia del 95% de la potencia de la señal) y determinar la cantidad y frecuencia de los armónicos que deben quedar en la banda pasante del filtro pasa bajos (canal de comunicación), de allí se tiene que la cantidad de armónicos requeridos es 5 y la frecuencia del 5to armónico es de 11 veces la frecuencia del fundamental siendo este mismo en magnitud igual a la mitad de la velocidad de transferencia de datos.

$$Frecuencia\ de\ la\ Fundamental = \frac{1}{2} * Velocidad\ de\ transmisión \quad (2)$$

$$Frecuencia\ de\ 5to\ armónico = 11 * Frecuencia\ de\ la\ Fundamental \quad (3)$$

Mediante un algoritmo de programación se determinaron las distancias máximas en metros del conductor sin la necesidad de implementar amplificadores de señal en función de las características de los conductores y las velocidades de transmisión normalizadas.

Como en la norma TIA/EIA - 485 no se especifican valores típicos de conductancia de los buses, los mismos se estiman mediante un algoritmo de programación, en el cual con una desviación de los resultados de no más del 1 % se obtuvieron las conductancias máximas admisibles en los conductores que logren los resultados de transmisión de información en el algoritmo diseñado.

Como resultado de la metodología de cálculo en máxima longitud en los conductores (ver Anexo 3) se tiene la Tabla 10:

**Tabla 10. Máxima Longitud en Metros de Conductor Par Trenzado en Redes
RS-485 en Función de la Velocidad de Transmisión.**

Velocidad de Transmisión [bps]	Tipo de Conductor				
	A	B	C	D	E
110	1805	1760	1805	1720	1473
300	1805	1760	1805	1720	1473
600	1805	1760	1805	1720	1473
1200	1804	1760	1804	1720	1472
2400	1804	1760	1804	1719	1472
4800	1802	1758	1802	1718	1472
9600	1794	1751	1794	1712	1470
14400	1781	1739	1781	1703	1466
19200	1763	1723	1763	1690	1461
28800	1717	1682	1717	1656	1447
38400	1661	1630	1661	1612	1429
56000	1546	1525	1546	1518	1386
57600	1536	1515	1536	1509	1381
115200	1200	1200	1200	1200	1200
128000	1141	1144	1141	1142	1160
153600	932	987	932	987	1082
230400	593	639	593	585	851
256000	528	571	528	514	736
460800	280	308	280	261	350
921600	137	151	137	125	160
10000000	15	16	15	14	16

En el caso de la red de campo del sistema de climatización del Complejo Directivo Cultural de la UCV se tiene que la velocidad normalizada es de 115,2 kbps por lo tanto la máxima longitud del conductor del bus de datos entre equipo maestro y uno esclavo es de 1200 m.

Para el diseño de la estructura de la red de campo se parte de la topología del sistema de climatización el cual se divide en dos grandes bloques el Sistema de Producción de Agua Helada y el Sistema de UMAs y Fancoils. El primero está compuesto por los Chillers, Torres de Enfriamiento y Bombas y el segundo está

conformado por la red de agua helada y las UMAs y Fancoils distribuidos a lo largo de los ambientes a climatizar.

El Sistema de Producción de Agua Helada: es el encargado de enfriar el agua siendo este el refrigerante para climatizar los ambientes, a continuación se explican sus partes.

Torres de Enfriamiento: está conformado por 4 torres de enfriamiento las cuales mediante operación en paralelo proveen de agua fresca (85 °F ~ 29,44 °C) a los Chillers al transferir al ambiente el calor del agua fresca caliente (95 °C ~ 35°C).

Bombas de Condensación: constituido por 4 bombas de 60 hp las cuales se encarga de movilizar el agua de condensación por el sistema de tuberías, torres de enfriamiento y Chillers.

Chillers: son las unidades encargadas de transferir el calor desde el agua helada caliente (52°F ~ 11,11°C) hasta el agua de condensación fresca, para ello hace uso de ciclos de refrigeración por compresión al forzar líquidos refrigerantes por intercambiadores de calor (unidades evaporadoras y condensadoras) en donde el mismo cambia de fase (se evapora) y absorbe calor transfiriéndolo desde el evaporador al condensador.

Bombas principales: estas fuerzan el flujo de agua helada caliente (52 °F ~ 11,11 °C) por las evaporadoras de los Chillers enfriándola hasta los 42 °F ~ 5,55 °C para así ser enviadas a la red de agua helada.

El sistema de distribución de agua helada: está conformado por 5 circuitos, Aula Magna, Biblioteca Central, Paraninfo, Sala de Conciertos y Rectorado, Museo y Comunicaciones, cada uno de ellos consta de un par de bombas de agua con funcionamiento alternado, equipada cada una con un variador de velocidad para

realizar función de control a presión constante. La climatización en cada ambiente se realiza mediante UMAs y Fancoils.

Teniendo en cuenta la forma en que se lleva a cabo el proceso de climatización en el CDC - UCV se plantea una distribución jerárquica en la cual se divide el sistema de climatización en etapas donde cada una de ellas es gobernada por un controlador que se encarga de coordinar el funcionamiento del subsistema, cada uno de estos controladores reporta y obedece ordenes de un PLC que gestiona la operación global del sistema.

A continuación en la Figura 11 se observa la Estructura de control.

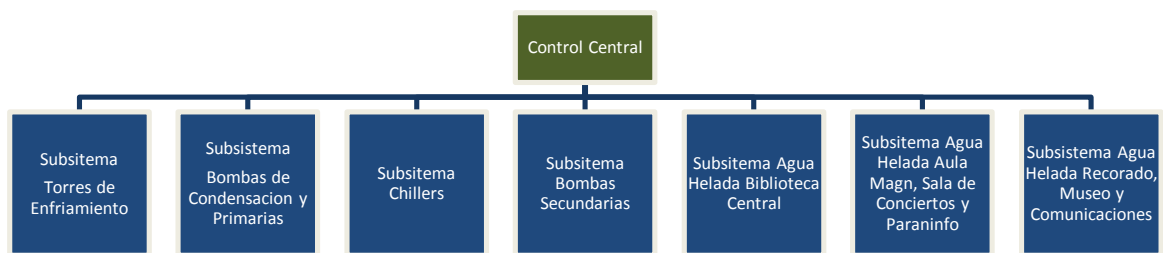


Figura 12. Esquema del sistema de control del Sistema de Climatización del CDC-UCV.

Funciones de cada Subsistema:

Torres de Enfriamiento: son los encargados de transferir el calor desde el agua de condensación hasta el ambiente exterior, para llevar a cabo esta tarea es necesario lo siguiente:

- Ventilar el agua de condensación transfiriendo el calor al aire del ambiente.
- Supervisar y controlar los caudales de agua de condensación a enfriar.
- Supervisar y controlar el ph del agua de condensación mediante la purga y reposición de la misma.

- Controlar el funcionamiento de los ventiladores y válvulas de las torres de enfriamiento en función de la carga térmica del agua de condensación.

- Coordinar la alternación y funcionamiento de las torres de enfriamiento para una operación uniforme.

- Supervisar las variables eléctricas y mecánicas asociadas a las torres de enfriamiento.

- Comunicar con el controlador central el número de torres de enfriamiento encendidas.

- Informar del estado de las máquinas y variables eléctricas y mecánicas del subsistema de torres de enfriamiento al controlador central

Bombas de Condensación y Bombas Primarias: se encargan de movilizar un flujo de agua contaste (1200 gpm por cada Chiller) en los circuitos de condensación y principal (960 gpm por cada Chiller) manteniendo el ciclo de transferencia de calor desde el circuito de agua helada hacia el ambiente, para ello debe:

- Movilizar el agua en los circuitos de condensación y primarios.

- Supervisar y controlar el encendido de las bombas asociadas a los Chillers en funcionamiento.

- Supervisar las variables eléctricas y mecánicas asociadas a las bombas de condensación y primarias.

- Establecer la secuencia de encendido de las bombas principales y de condensación que deben estar encendidas, manteniendo siempre la coordinación con el o los Chillers que están produciendo agua helada.

- Informar del estado de las máquinas y variables eléctricas y mecánicas del subsistema de bombas de condensación y primarias al controlador central

Chillers: el mismo es el corazón del SPAH motivado a que en él se crea el balance de temperaturas entre el agua helada y de condensación que permite transportar el calor desde los ambientes hasta el exterior, para ello es necesario:

- Supervisar y controlar el número de unidades compresoras encendidas de acuerdo a la carga térmica existente.
- Supervisar las variables eléctricas y mecánicas asociadas a los Chillers
- Negociar con el controlador central los Chillers que deben estar encendidos.
- Velar porque cada unidad productora de agua helada durante su operación cuente con el sistema de bombeo de condensación y primario funcionando y elevar las peticiones de encendido de los grupos de bombas necesarios para el arranque de una nueva unidad productora de agua.
- Informar del estado de las máquinas y variables eléctricas y mecánicas del subsistema Chillers al controlador central.

Bombas Secundarias: es el sistema encargado de transportar el calor desde los ambientes hasta el SPAH, para ello se realiza lo siguiente:

- Supervisar y alternar el encendido de las bombas secundarias según programación horaria.
- Supervisar las variables eléctricas y mecánicas asociadas a las bombas secundarias.
- Coordinar la alternación y funcionamiento de las bombas para una operación uniforme.
- Controlar la velocidad de giro de los motores para garantizar una presión de agua constante en el circuito de agua helada

Circuitos de Agua Helada: estos son los que distribuyen el agua helada por todos los cuartos de UMAs y zonas que lo requieran, para realizar así las acciones de control que permiten climatizar los ambientes deseados, estos se dividen en tres grandes circuitos:

•**Aula Magna, Paraninfo, y Sala de Conciertos:** distribuye agua helada a 2 UMAs para Aula Magna, 1 para Sala de Conciertos y 1 para Paraninfo.

•**Biblioteca Central:** surte de agua helada a 11 UMAs en Sala E, Estudio de TV y Sótano de Biblioteca Central, 4 UMAs y 19 Fancoils en Sala de Lectura y 26 UMAs en el edificio de Biblioteca Central distribuidos en su mayoría 2 UMAs por piso.

•**Rectorado, Museo y Comunicaciones:** proporciona agua helada a 11 UMAs en el edificio de Rectorado, 4 UMAs en el de Museo y 25 Fancoils en el de Comunicaciones.

Controlador Central: es el encargado de coordinar la operación de todos los subsistemas además de supervisar y controlar el sistema de distribución de potencia eléctrica para el funcionamiento del Sistema de Climatización, para ello realiza lo siguiente:

- Ejecuta la programación de funcionamiento horario del sistema de climatización.

- Coordinar el turno de operación del grupo de operación Chiller-Bombas Principales-Condensación.

- Ordena la operación de los subsistemas.

- Supervisa el sistema de distribución de potencia en el Sistema de Climatización.

- Determinar con el subsistema Chillers la cantidad que debe estar encendida.

- Comunica al subsistema torres de enfriamiento la cantidad de equipos operando.

- Solicita la información de las redes de campo a cada subsistema bajo su cargo.

- Informa al controlador de bombas de condensación y principales cuales deben estar encendidas.

- Recopila todas las variables medidas en campo a fin de presentársela al computador del SCADA de una manera compacta.

Unidad Manejadora de Aire (UMA): Cada una consta de un controlador (PLC) para llevar a cabo el objetivo de control de la misma, que es manejar la temperatura y humedad del ambiente en función a parámetros deseados, para ello se debe:

- Controlar el caudal de aire que circula por la UMA en función de la temperatura de aire de retorno. Para ejecutar este lazo de control es necesario del uso de un variador de frecuencia que modifique la velocidad del ventilador acorde con la temperatura de aire de retorno contra la de referencia. En líneas generales el flujo de aire es proporcional a la diferencia entre esas 2 temperaturas, así pues:

$$\text{Flujo de aire} \propto \text{ctte} * (\text{Temp. Aire Retorno} - \text{Temp. Referencia}). \quad (4)$$

- En función de la diferencia de presiones de aire de retorno e inyectado se controla el caudal del agua inyectada en el serpentín de la UMA. Para ello se establece que el caudal de agua debe circular por el serpentín cuando exista diferencia de presiones entre la succión y la inyección de aire (ventilador encendido) quedando así la lógica de funcionamiento:

$$\text{Circula agua por el serpentín} \begin{cases} \text{Si, } \Delta \text{Presiones de aire es grande} \\ \text{No, } \Delta \text{Presiones de aire es pequeño} \end{cases} \quad (5)$$

- Recoger los datos de temperaturas de los sensores instalados en el ambiente (se considera que cada UMA maneja un máximo de 10 sensores).

- Supervisar las variables eléctricas y mecánicas asociadas a la operación de la UMA.

- Energizar dependiendo del horario de funcionamiento.
- Informa del estado y variables medidas al controlador maestro.

Fancoils: Estos dispositivos también enfrían el aire del ambiente al forzar el aire por un intercambiador de calor, con la diferencia de que carecen de un sistema de control que ejerce acciones proporcionales a la temperatura del aire. Su control es coordinado por relés programables que accionan hasta 4 unidades realizando lo siguiente:

- Supervisa la temperatura del ambiente para el encendido o apagado de los Fancoils asociados.
- Supervisa las variables eléctricas y mecánicas asociadas al Fancoil
- Energiza dependiendo del horario de funcionamiento.
- Informa del estado y variables medidas al controlador maestro.

Es necesario incorporar en el programa de cada controlador asociado a cada subsistema una serie de rutinas que regulen el funcionamiento del sistema de control de manera que el mismo pueda funcionar acorde a lo deseado, en el Anexo 4 se muestran los diagramas de flujo asociados a dichos programas.

Redes en el Sistema de Climatización del CDC-UCV: se conforman de la siguiente manera:

Red de Campo:

Protocolo de Comunicación: Modbus – ASCII sobre RS-485.

Capa Física:

Cable Tipo C según TIA/EIA 485, con tres pares trenzados, con una impedancia característica de $100\ \Omega$, permitiéndose tramos continuos de conductor de hasta 1200 m de longitud entre el emisor y receptor más lejano.

Se permiten empalmes en los conductores siempre y cuando se realicen mediante dispositivos que eviten el cambio de impedancia característica del medio y que los mismos queden en cajas de paso debidamente identificadas e instaladas de modo de facilitar el mantenimiento.

La alimentación de la red de campo es en 24 VDC, por lo tanto todos los dispositivos conectados a la misma soportarán operar con esa tensión.

El calibre mínimo en los conductores de alimentación 24 VDC 16 AWG.

Se diseñará la red de distribución de energía de los dispositivos de campo según la arquitectura de la red de campo y bajo las siguientes premisas.

a.Tensión Nominal: 24 VDC.

b.La ampacidad y las protecciones de sobrecorriente de los circuitos determinadas de conformidad con el Código Eléctrico Nacional vigente.

c.Caída de tensión máxima permisible: 5% de la tensión nominal.

d.Se requiere de un Sistema de Puesta a Tierra de acuerdo al Código Eléctrico Nacional.

e.Se permiten del uso de derivaciones en la red de campo para mayor facilidad en la implementación, siempre y cuando las mismas sean elementos activos que sean alimentados con 24 VDC y posean las características eléctricas de comunicación del bus normadas en TIA/EIA 485 y permitan comunicación bidireccional en la derivación.

f.La velocidad de transmisión de información en el bus debe ser de 115,2 kbps, por lo tanto todos los dispositivos conectados al mismo soportarán y estarán configurados para funcionar a la mencionada tasa de transferencia.

Dispositivos de Campo:

Todos los dispositivos conectados a la red de campo, ya sean sensores, actuadores, PLCs, RTUs, Splitters, etc., tienen una impedancia característica de 100 Ω , esto por ser la impedancia característica compatible con el tipo de cable del bus y por ser la impedancia típica en redes similares.

Los dispositivos maestros de la red son los PLCs y las RTUs.

Los dispositivos esclavos están comprendidos por todos los sensores, actuadores, variadores de velocidad, arrancadores suaves y registradores de carga conectados a la red.

La canalización:

1.Será tubería metálica rígida roscada (Conduit), sus dimensiones son acorde a la cantidad de conductores que albergaran en su interior según metodologías expuestas en el CEN.

2.Todas las cajas de paso, tableros de control que contengan dispositivos de control medición, son a prueba de agua con grado de protección IP 65 como mínimo. En el caso que sea necesario por la dificultad de la obra se permitirá el uso de tubería metálica flexible hermética (Liquid-Tight).

3.La canalización en su totalidad será hermética a los líquidos sin importar las transiciones en su construcción. Las razones del empleo de este tipo de

canalización es la de proteger contra los líquidos a los dispositivos que ellas albergan dado a que los mismos se encuentran en áreas con tuberías de agua presurizadas.

4.La red de fuerza (120/277 vac) y de control estarán en canalizaciones separadas, solo se permitirá en una misma tubería el alimentador 24 vdc junto con cable de la red de campo.

Red de Control: Modbus – TCP/IP sobre Ethernet.

Capa Física:

1.Se emplea un conductor categoría 5e o superior según **IEEE 802** [15], el cual es un cable con cuatro pares, con una impedancia característica de **100 Ω** , se permiten tramos continuos de conductor de hasta 100 m de longitud entre el emisor y receptor más lejano. No se permiten empalmes en los conductores, existiendo un único conductor entre el concentrador y cada terminal o PLC / RTU.

2.La alimentación de la red de control es en 120 VAC y supe a los dispositivos activos que lo requieran (concentradores, PLCs, RTUs, etc.). Su canalización es construida de acuerdo a lo especificado en el Código Eléctrico Nacional vigente.

3.La velocidad de transmisión de información en el bus es de 100 MBps, por lo tanto todos los dispositivos conectados al mismo soportaran y están configurados para funcionar a la mencionada tasa de transferencia.

Dispositivos en Red de Control:

1. Todos los dispositivos conectados a la red de control, PLCs, RTUs, Concentradores, etc., poseen las características eléctricas compatibles con la transmisión de datos en redes Ethernet [15].

2. Los dispositivos maestros de la red son el PLC Principal o Maestro y los terminales del SCADA.

3. Los dispositivos esclavos de la red son todos los demás PLCs y RTUs bajo el dominio del PLC Principal o Maestro.

La canalización:

1. Son tubería metálica rígida roscada (Conduit), sus dimensiones están acordes a las metodologías expuestas en el CEN.

2. Todas las cajas de paso, tableros de control que contengan dispositivos de control medición, son a prueba de agua con grado de protección IP 65 como mínimo. En el caso que fue necesario por la dificultad de la obra se permitió el uso de tubería metálica flexible hermética (Liquid-Tight).

3. La canalización en su totalidad son hermética a los líquidos sin importar las transiciones en su construcción. Las razones del empleo de este tipo de canalización es la de proteger contra los líquidos a los dispositivos que ellas albergan dado a que los mismos se encuentran en áreas con tuberías de agua presurizadas.

4. La red de fuerza (120/277 Vac) y de control estarán en canalizaciones separadas, solo se permitirá en una misma tubería el alimentador 24 Vdc junto con cable de la red de campo.

En el Anexo 13 se incluyen las características de los estudios de ingeniería de detalle necesarios para la definición precisa de las redes de control y de campo no descritas en el presente trabajo.

Finalmente los equipos requeridos para la implementación de las redes de campo y de control son:

Equipos en Red de Campo:

Sensores: sus características son de acuerdo a la variable física a medir y están diseñados para medir alrededor de 20 % del valor nominal esperado de la variable exceptuando en aquellas variables tales como la temperatura ambiente del aire y del pH del agua donde el rango es la variación máxima posible de las mismas, en todo caso poseerán comunicación Modbus ASCII /RS-485 @115,2 kbps y son alimentados con 24 VDC. A continuación en la Tabla 11 se muestra la lista resumen con las escalas mínimas de los sensores:

Tabla 11. Rangos de medición mínimos de los sensores de campo a instalar. [11]

Sensores en Red de Campo				
Variable a Medir	Unidad	Valor nominal	Limite Superior	Límite Inferior
Circuito Primario				
Presión de Descarga de Motor 25 hp	hpdt	35	42	28
Presión de Succión de Motor 25 hp	hpdt	<35	35	0
Temperatura de Agua Helada (Caliente)	°F	52	62	42
Caudal de Agua Helada	gpm	960	1152	768
Circuitos Secundarios				
Caudal Bomba secundaria 100 hp	gpm	1640	1968	1312
Presión de Descarga de Motor 100 hp	hpdt	135	162	108
Presión de Succión de Motor 100 hp	hpdt	<135	135	0
Temperatura de Agua Helada (Fría) motor 100 hp	°F	42	50	34
Caudal Bomba secundaria 50 hp (135 hpdt)	gpm	900	1080	720
Presión de Descarga de Bomba 50 hp (900	hpdt	135	162	108

Sensores en Red de Campo				
Variable a Medir	Unidad	Valor nominal	Límite Superior	Límite Inferior
gpm)				
Presión de Succión de Bomba 50 hp (900 GPM)	hpdt	<135	135	0
Temperatura de Agua Helada (Fría) Motor 50 hp	°F	42	50	34
Caudal Bomba secundaria 50 hp (185 hpdt)	gpm	580	696	464
Presión de Descarga de Bomba 50 hp (580 GPM)	hpdt	185	222	148
Presión de Succión de Bomba 50 hp (580 gpm)	hpdt	<185	185	0
Temperatura de Agua Helada (Fría) 50 hp	°F	42	50	34
Caudal Bomba secundaria 7,5 HP (105 hpdt)	gpm	130	156	104
Presión de Descarga de Bomba 7,5 hp	hpdt	105	126	84
Presión de Succión de Bomba 7,5 hp	hpdt	<105	105	0
Temperatura de Agua Helada (Fría) 7,5 hp	°F	42	50	34
Caudal Bomba secundaria 7,5 hp (130 hpdt)	gpm	100	120	80
Presión de Descarga de Bomba 7,5 hp	hpdt	130	156	104
Presión de Succión de Bomba 7,5 hp	hpdt	<130	130	0
Temperatura de Agua Helada (Fría) Motor 7,5 hp	°F	42	50	34
Circuitos de Condensación				
Caudal de Bomba de Condensación	gpm	1200	1440	960
Caudal Total de Circuito de Condensación	gpm	4800	5760	3840
Presión de Descarga de Bomba 60 hp	hpdt	110	132	88
Presión de Succión de Bomba 60 hp	hpdt	<110	110	0
Temperatura de Agua de Condensación (Fría)	°F	85	102	68
Caudal de Agua de Condensación	gpm	1200	1440	960
Presión de Entrada de Agua de Condensación	hpdt	110	132	88
Presión de Salida de Agua de Condensación	hpdt	<110	110	0
Presión de Entrada de Agua de Helada	hpdt	35	42	28
Presión de Salida de Agua de Helada	hpdt	<35	35	0
Torres de Enfriamiento				
PH de Agua de Condensación	s/u	7	14	6

Sensores en Red de Campo				
Variable a Medir	Unidad	Valor nominal	Límite Superior	Límite Inferior
Caudal de Agua de Condensación	gpm	1200	1440	960
Presión de Descarga	hpdt	110	132	88
Presión de Succión	hpdt	<110	110	0
UMAs y Fancoils				
Flujo de Aire de Suministro por Ambiente.	cfm	3000	3600	0
Flujo de Aire del Exterior	cfm	500	600	0
Presión de Agua Helada (Entrante) UMA	hpdt	105	126	84
Presión de Agua Helada (Saliente) UMA	hpdt	<105	105	0
Presión Diferencial de Filtros de Aire	hpdt	3	4	2
Temperatura de Agua Helada (Fría)	°F	42	50	34
Temperatura de Agua Helada (Caliente)	°F	52	62	42
Temperatura de Aire de Suministro	°F	40	100	32
Temperatura de Aire de Retorno	°F	95	114	76
Humedad Relativa del Aire de Retorno	%	50	60	40

Los sensores se seleccionaron considerando la precisión requerida, el ambiente en el cual opera y los costos asociados al sensor tales como los de adquisición, instalación, mantenimiento y operación, en ese sentido se sugirió lo siguiente:

Sensores de Temperatura de agua: la tecnología empleada es del tipo PT100 el cual está pensado para rangos de temperaturas entre los -50 °C y 150 °C, su grado de protección será al menos IP 67 y diseñado para operar inmerso en agua.

Sensores de Caudal de agua: se permitirá el uso de sensores que no requieren intervención invasiva de la tubería de agua, en ese sentido se recomendó el uso de sensores ultrasónicos o de turbina motivado a que su instalación es muy sencilla, además que ofrecen una precisión aceptable de acuerdo a los requerimientos de precisión (5% y 0,25% a plena escala) [11]. La marca y modelo fueron discriminados en función de los periodos de mantenimiento y costos de adquisición y operación de los mismos. El grado de protección IP es al menos 67.

Sensores de pH: se emplean sensores que permiten mediciones prolongadas y que estén diseñados para ser utilizados en plantas de tratamiento de aguas y/o torres de enfriamiento. Pueden emplear como elementos sensores transistores de efecto de campo modulados por Iones (ISFET) u electrodos de vidrio y gel, teniendo siempre en cuenta que esa tecnología requiere un bajo mantenimiento. El grado de protección IP es al menos 67.

Sensores de Presión: están contruidos para estar en contacto continuo con el agua, y su instalación es lo menos invasiva a los sistemas de tubería siendo estos herméticos a los líquidos. El grado de protección IP es al menos 67.

Sensores de Humedad: se implementaron sensores cuya tecnología de medición es la de variaciones de capacitancias en función de la humedad del ambiente y están protegidos contra condensación y polución (IP 67 mínimo).

En la Tabla 12 se resumen las precisiones en concordancia a la variable medida:

Tabla 12. Precisiones de medida en instrumentos de medición. [11]

Variable Medida	Precisión
Temperatura de Zona	$\pm 1^{\circ}\text{F}$
Temperatura de Aire en un conducto	$\pm 2^{\circ}\text{F}$
Temperatura Exterior	$\pm 2^{\circ}\text{F}$
Temperatura de agua	$\pm 1^{\circ}\text{F}$
Humedad Relativa	$\pm 5\% \text{ rh}$
Flujo de Agua	$\pm 5\%$ de toda la escala
Flujo de Aire (terminal)	$\pm 10\%$ de la lectura
Flujo de Aire (Estación de medición)	$\pm 5\%$ de la lectura

Variable Medida	Precisión
Presión de Aire (conductos)	± 0.1 " wg.
Presión de Aire (Espacios)	± 0.01 " wg.
Presión de Agua	$\pm 2\%$ de la escala completa

Válvulas de Control:

Para la selección de las mismas se cumplió con lo siguiente:

Eléctricas:

1. Su voltaje de operación es de 24 Vac.
2. La estrategia de control es tipo ON-OFF motivado al uso de válvulas de bola o esfera [11].
3. El tipo de accionamiento en la operación es el de conmutación de alimentación (3 Cables – 3 wires).

Mecánicas:

1. Serán de acople directo, para operar con válvulas de bola o esfera [11].
2. Poseerán una caja de velocidades que permita el embrague y desembrague del motor.
3. Las capacidades serán determinadas en función de los caudales y caídas de presión presentes en cada circuito de agua a controlar [11].
4. Las válvulas serán del mismo diámetro que la tubería donde se van a instalar, por lo tanto cumpliendo con los requerimientos de Cv o Kv especificados por el fabricante y por el diseño de las instalaciones mecánicas [11].
5. El grado de protección será mínimo IP 65.

Equipos en Red de Control:

PLCs: están diseñados para operar en ambientes cuya temperatura oscile entre 0 y 60 °C, deben soportar humedades ambientales del 100 % (en caso contrario serán instalados en envoltentes con grado de protección IP 67 o superior), su alimentación es de 24 Vdc, está previstos de dos módulos de comunicación (uno Modbus / ASCII – RS-485 y otro Modbus /TCP/IP – Ethernet).

En lo que respecta a los módulos de E/S Analógicos y Digitales se escogieron en base a lo requerido por cada subsistema, así pues:

Tabla 13. Requerimiento de E/S Digitales y Analógicas en PLCs.

PLC	Cantidad Requerida	Cantidad Estándar
Central	30 Entradas Digitales. 30 Salidas Digitales. 17 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.	32 Entradas Digitales. 32 Salidas Digitales. 24 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.
Torres de Enfriamiento	4 Entradas Digitales. 6 Salidas Digitales. 0 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.	8 Entradas Digitales. 8 Salidas Digitales. 0 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.
Bombas de Condensación y Principales	4 Entradas Digitales. 4 Salidas Digitales. 0 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.	8 Entradas Digitales. 8 Salidas Digitales. 0 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.
Chillers	4 Entradas Digitales. 4 Salidas Digitales. 84 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.	8 Entradas Digitales. 8 Salidas Digitales. 96 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.
Bombas Secundarias	0 Entradas Digitales. 0 Salidas Digitales. 0 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.	0 Entradas Digitales. 0 Salidas Digitales. 0 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.
UMA	2 Entradas Digitales. 2 Salidas Digitales. 5 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.	4 Entradas Digitales. 4 Salidas Digitales. 8 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.
FANCOILS	4 Entradas Digitales. 8 Salidas Digitales. 8 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.	4 Entradas Digitales. 8 Salidas Digitales. 8 Entradas 4-20mA /0-10 Vdc.

Con respecto a las características de memoria de programa y velocidades de cálculo, estas son determinadas al compilar el programa que ejecutara cada PLC, proceso que se realizará una vez seleccionados los mismos entre los distintos

fabricantes en función las facilidades de comunicación y expansión con respecto al gasto asociado a su instalación y mantenimiento.

Sin embargo, considerando la cantidad de información recogida por parte de los PLC durante el proceso de lectura de las variables de campo se puede estimar la cantidad de memoria RAM mínima que requeriría cada uno al aproximar la información manejada a los valores típicos de memoria RAM (ver Tabla 14).

Tabla 14. Cantidad de Memoria RAM mínima requerida por PLC en función de la cantidad de información manejada.

	Bytes de Información	Memoria RAM [kbytes]
PLC Torres de Enfriamiento	432	1
PLC Bombas Principales y de Condensación	1238	2
PLC Chillers	845	1
PLC Bombas Secundarias	265	1
PLC Maestro	9326	16
PLC UMA	84	1
Relé Programable 4 Fancoils	40	1

En el caso de la capacidad de procesamiento es importante resaltar que la misma debe ser suficiente como para que se ejecute todo el programa en los tiempos que permitan realizar los objetivos de control y supervisión de manera satisfactoria.

Esta capacidad de procesamiento no es la misma entre marcas y modelos de los PLC motivado a que no necesariamente se construyen de manera igual.

RTUs: están contruidos para operar en ambientes cuya temperatura oscile entre 0 y 60 °C, deben soportar humedades ambientales del 100 % (en caso contrario

se instalaron en envoltorios que garantizan esa protección), están previstos de dos módulos de comunicación (uno Modbus / ASCII – RS-485 y otro Modbus /TCP/IP – Ethernet).

Conmutador o Switch: considerando que la topología de la red de control es en estrella y que existe un máximo de 10 clientes en la red (entre PLCs, RTUs y Estaciones de trabajo), que la velocidad de transferencia de datos es de 100 Mbps, que soportara únicamente la comunicación Modbus – ASCII / TCP/IP, se sugirió emplear un concentrador con las siguientes características mínimas:

- 1.Soportar servicio continuo además de poseer las características necesarias para operar en un ambiente industrial.
- 2.Espacio para conectar como mínimo a 10 Clientes.
- 3.La velocidad soportada de 1000 MBps.
- 4.Tensión de alimentación de 120 Vac.
- 5.Debe poseer un filtro de autenticación de direcciones MAC e IP para garantizar que intrusos a la red no puedan enviar paquetes que puedan perjudicar a la red de control.
- 6.Ser ubicado en el gabinete dispuesto para alojar los elementos de la red de control esto es el Módulo 2 del CCM3.

Estaciones de Trabajo:

Requisitos de Software:

- 1.Se sugiere del uso del Sistema Operativo Windows Server 2012 o superior a menos que el software de SCADA empleado requiera de algún otro sistema operativo.
- 2.Microsoft Office 2013 o superior.
- 3.Un visualizador de archivos PDF, se recomienda el ADOBE READER.
- 4.Autodesk Trueview 2015 o Superior.

Requisitos de Hardware:

- 1.Arquitectura del procesador 64 bits.
- 2.Procesador de 2,4 GHz o superior.
- 3.Disco Duro de 1 TB o superior.
- 4.Memoria RAM 8 GB DDR3 SDRAM o superior.
- 5.Unidad grabadora de BLU-RAY DISC.
- 6.2 Tarjeta de Red Ethernet 1000 Mbit o superior.
- 7.Al menos 4 puertos USB 3.0 o superior.
- 8.Tarjeta de sonido 5.1 Canales 24 de resolución, puerto PCI express, o superior.
- 9.Tarjeta de Video con salida VGA y HDMI soportando resoluciones 1080p con profundidad de color de al menos 32 bits y una memoria gráfica de al menos 1 GB.
- 10.Monitor LED de 32 pulgadas con resolución 1080p o superior con entradas HDMI e iluminancia de 500 cd/m2.
- 11.El teclado será ergonómico a fin de evitar enfermedades asociadas con el manejo del mismo, debe emplear puerto USB.
- 12.El Mouse o Ratón será del tipo óptico de conexión USB con una ergonomía que evite enfermedades asociadas al manejo del mismo.

En función de las especificaciones anteriores y de la arquitectura del edificio se plantea un conjunto de planos donde se presenta la distribución de las redes de control y de campo. Ver Anexo 4.

En el Anexo 13 se puede apreciar un resumen de los distintos equipos descritos para la implementación de la red de campo y de control así como las cantidades de dispositivos requeridos.

CAPITULO IV

DISEÑO DEL SCADA

Para el desarrollo de la aplicación del SCADA en primera instancia, se realiza una recopilación de la estructura del sistema a supervisar así como todas las variables y características de las mismas, además en función de los requerimientos del proyecto de Instalaciones Mecánicas por A. Robaina y de la estructura de distribución de potencia proyectada por A. Cepeda se plantea el diseño de una interfaz gráfica en la cual el operador pueda visualizar de manera fácil e intuitiva cada parte que compone el Sistema de Climatización pudiendo ver que cada una de las variables de interés se encuentra dentro de los parámetros normales proyectados para el mismo.

Para el desarrollo de la aplicación del SCADA se tuvieron en cuenta las siguientes premisas:

- La función del sistema de supervisión es la de mantener al operador informado de la operación del sistema mostrándole todas y cada una de las variables de interés, así como de indicarle mediante alarmas y señales anomalías en alguna de ellas en el funcionamiento del sistema.
- Las acciones de control que se ordenaran desde el SCADA serán única y exclusivamente para hacer pruebas y paradas de mantenimiento, siendo responsabilidad del sistema de control (PLCs) y sistema de distribución de potencia el control del proceso.

- La aplicación muestra de manera intuitiva la operación de cada parte que compone al SPAH, empleando animaciones y colores para ello, es por esa razón que se establece:

Código de colores en señalización de objetos:

Rojo: se usó para indicar que una variable se encuentra fuera de los rangos normales de funcionamiento o en el caso de objetos que el mismo se encuentra averiado.

Amarillo: para el caso de variables indica que las mismas están sobre valores fuera de lo común pero dentro de un rango aceptable.

Verde: este color se empleó para indicar que el objeto está operando normalmente.

Gris o transparente: indica que el equipo está fuera de operación motivado a que fue puesto en mantenimiento, en este estado el sistema realizara las acciones necesarias para operar con los equipos restantes dentro del sistema.

Se establecen como rango de operación de las variables lo siguiente:

Variables Mecánicas: 5% del valor nominal.

Variables Eléctricas: 5 % del valor nominal.

Para el caso de la generación de las alarmas existe un desfase de tiempo el cual permite filtrar falsas alarmas de funcionamiento, dependiendo de su naturaleza, en ese sentido tenemos:

Variables Eléctricas: 2 segundos.

Variables Mecánicas: 12 segundos.

Variables Térmicas: 120 segundos.

Variables Químicas: 0 segundos.

Cabe destacar que para el caso de las variables eléctricas, las protecciones del sistema eléctrico estarán calibradas de forma tal de evitar daños al mismo por fallas en cada una de sus partes, por lo tanto los retardos de actuación de los mismos están determinados el proyecto de instalaciones eléctricas [12].

El software a emplear para el desarrollo de la aplicación será de distribución gratuita o en su defecto de bajo costo.

Considerando las variables de interés expuesto en los Proyecto de Instalaciones Mecánicas y Eléctrico, y de la topología de cada subsistema, a continuación se expone una lista resumen con todas las variables a mostrar dentro del SCADA así como el tipo de variable y los rangos de operación normal según cada subsistema que compone al SPAH.

Variables Mecánicas:

Subsistema Torres de Enfriamiento:

Tabla 15. Lista de Variables a Supervisar en Torres de Enfriamiento. [11]

Variable	Unidad	Valor nominal	Alarma Alta	Alarma Baja	Desfase Alarma	Tipo de Variable
Caudal de Agua de Condensación	gpm	1200	1260	1140	12 s	Analógica
Temperatura de Agua de Condensación Entrante	°F	95	99,75	-	120 s	Analógica

Variable	Unidad	Valor nominal	Alarma Alta	Alarma Baja	Desfase Alarma	Tipo de Variable
Temperatura de Agua de Condensación Saliente	°F	85	89,25	-	120 s	Analógica
Nivel de Agua de Torre de Enfriamiento	Digital	Lleno	-	Vacío	0 s	Digital
pH de Agua de Condensación	s/u	8	9	7	0 s	Analógica

Subsistema Bombas Principales y de Condensación:

Tabla 16. Lista de Variables a Supervisar en Bombas Principales y de Condensación. [11]

Variable	Unidad	Valor nominal	Alarma Alta	Alarma Baja	Desfase Alarma	Tipo de Variable
Caudal de Bomba Primaria	gpm	960	1008	912	12 s	Analógica
Presión de Descarga de Bomba 25 HP	hpdt	35	36,75	33,25	12 s	Analógica
Presión de Succión de Bomba 25 HP	hpdt	-	-	-	-	Analógica
Caudal de Bomba de Condensación	gpm	1200	1260	1140	12 s	Analógica
Caudal Total de Circuito de Condensación	gpm	4800	5040	1140	12 s	Analógica
Presión de Descarga de Bomba 60 HP	hpdt	110	115,5	104,5	12 s	Analógica
Presión de Succión de Bomba 60 HP	hpdt	-	-	-	-	Analógica
Temperatura de Agua de Condensación (Fría)	°F	85	89,25	0	120 s	Analógica

Subsistema Chillers:

Tabla 17. Lista de Variables a Supervisar en Chillers. [11]

Variable	Unidad	Valor nominal	Alarma Alta	Alarma Baja	Desfase Alarma	Tipo de Variable
Caudal de Agua de Condensación	gpm	1200	1260	1140	12 s	Analógica
Caudal de Agua Helada	gpm	960	1008	912	12 s	Analógica
Presión de Entrada de Agua de Condensación	hpdt	110	115,5	104,5	12 s	Analógica
Presión de Salida de Agua de Condensación	hpdt	-	-	-	-	Analógica
Presión de Entrada de Agua de Helada	hpdt	35	36,75	33,25	12 s	Analógica
Presión de Salida de Agua de Helada	hpdt	-	-	-	-	Analógica
Presión Diferencial de Aceite	hpdt	1	1,05	0,95	12 s	Analógica
Presión Diferencial de Refrigerante	hpdt	1	1,05	0,95	12 s	Analógica
Temperatura de Agua de Condensación (Entrante)	°F	85	89,25	0	120 s	Analógica
Temperatura de Agua de Condensación (Saliente)	°F	95	99,75	0	120 s	Analógica
Temperatura de Agua de Helada (Fría)	°F	42	44,1	0	120 s	Analógica
Temperatura de Agua de Helada (Caliente)	°F	52	54,6	0	120 s	Analógica

Variable	Unidad	Valor nominal	Alarma Alta	Alarma Baja	Desfase Alarma	Tipo de Variable
Temperatura de Aceite	°F	1	1,05	0	120 s	Analógica
Temperatura de Refrigerante	°F	1	1,05	0	120 s	Analógica

Subsistema Bombas Secundarias:

Tabla 18. Lista de Variables a Supervisar en Bombas Secundarias. [11]

Variable	Unidad	Valor nominal	Alarma Alta	Alarma Baja	Desfase Alarma	Tipo de Variable
Caudal Bomba secundaria 100 HP	gpm	1640	1722	0	12 s	Analógica
Presión de Descarga de Bomba 100 HP	hpdt	135	141,75	128,25	12 s	Analógica
Presión de Succión de Bomba 100 HP	hpdt	-	-	-	-	Analógica
Temperatura de Agua Helada (Fría) 100 HP	°F	42	44,1	39,9	120 s	Analógica
Caudal Bomba secundaria 50 HP (135 HPDT)	gpm	900	945	0	12 s	Analógica
Presión de Descarga de Bomba 50 HP (900 GPM)	hpdt	135	141,75	128,25	12 s	Analógica
Presión de Succión de Bomba 50 HP (900 GPM)	hpdt	-	-	-	-	Analógica
Temperatura de Agua Helada (Fría) 50 HP	°F	42	44,1	39,9	120 s	Analógica
Caudal Bomba secundaria 50 HP (185 HPDT)	gpm	580	609	0	12 s	Analógica
Presión de Descarga de	hpdt	185	194,25	175,75	12 s	Analógica

Variable	Unidad	Valor nominal	Alarma Alta	Alarma Baja	Desfase Alarma	Tipo de Variable
Bomba 50 HP (580 GPM)						
Presión de Succión de Bomba 50 HP (580 GPM)	hpdt	-	-	-	-	Analógica
Temperatura de Agua Helada (Fría) 50 HP	°F	42	44,1	39,9	120 s	Analógica
Caudal Bomba secundaria 7,5 HP (105 HPDT)	gpm	130	136,5	0	12 s	Analógica
Presión de Descarga de Bomba 7,5 HP	hpdt	105	110,25	99,75	12 s	Analógica
Presión de Succión de Bomba 7,5 HP	hpdt	-	-	-	-	Analógica
Temperatura de Agua Helada (Fría) 7,5 HP	°F	42	44,1	39,9	120 s	Analógica
Caudal Bomba secundaria 7,5 HP (130 HPDT)	gpm	100	105	0	12 s	Analógica
Presión de Descarga de Bomba 7,5 HP	hpdt	130	136,5	123,5	12 s	Analógica
Presión de Succión de Bomba 7,5 HP	hpdt	-	-	-	-	Analógica
Temperatura de Agua Helada (Fría) 7,5 HP	°F	42	44,1	39,9	120 s	Analógica

Subsistema de UMA:

Tabla 19. Lista de Variables a Supervisar en UMAs. [11]

Variable	Unidad	Valor nominal	Alarma Alta	Alarma Baja	Desfase Alarma	Tipo de Variable
Caudal de Agua Helada	gpm	Dependen dimensiones de la UMA.			0 s	Analógica
Flujo de Aire de Suministro	cfm				120 s	Analógica
Flujo de Aire del Exterior	cfm				12 s	Analógica
Presión de Agua Helada (Entrante)	hpdt				12 s	Analógica
Presión de Agua Helada (Saliente)	hpdt				-	Analógica
Presión Diferencial de Filtros de Aire	hpdt	0	4	-	0 s	Analógica
Temperatura de Agua Helada (Fría)	°F	42	44,1	0	120 s	Analógica
Temperatura de Agua Helada (Caliente)	°F	52	54,6	0	120 s	Analógica
Temperatura de Aire de Suministro	°F				-	Analógica
Temperatura de Aire de Retorno	°F				-	Analógica
Humedad Relativa del Aire de Retorno	%	50	80	30	12 s	Analógica

Subsistema de Fancoils:

Tabla 20. Lista de Variables a Supervisar en Fancoils. [11]

Variable	Unidad	Valor nominal	Alarma Alta	Alarma Baja	Desfase Alarma	Tipo de Variable
Presión Diferencial de Filtros de Aire	hpdt	0	4	-	-	Analógica
Temperatura de Aire de Retorno	°F	-	-	-	-	Analógica

Subsistema de CCM y Celdas de Potencia:

Tabla 21. Lista de Variables a Supervisar en CCM. [16]

Variable	Unidad	Valor nominal	Alarma Alta	Alarma Baja	Desfase Alarma	Tipo de Variable
Tensión Línea a Línea	V	480	504	456	0 s	Analógica
Desbalance de Tensión	%	0	1%	-1%	0 s	Analógica
Potencia Aparente Tx 1000 kVA	kVA	800	1000	0	0 s	Analógica
Sensores Iónicos.	Digital	Apagado	Fuego	N/A	0 s	Digital
Contactos Auxiliar Estado Interruptores	Digital	N/A	N/A	N/A	N/A	Digital
Contactos Auxiliares de disparo Interruptores	Digital	Abierto	Cerrado	N/A	0 s	Digital
Contactos Comando de Interruptores	Digital	N/A	N/A	N/A	N/A	Digital

Variables Eléctricas:

Tabla 22. Lista de Variables a Eléctricas a Supervisar. Fuente: Anexo 1.

Variable	Unidad	Valor nominal	Alarma Alta	Alarma Baja	Desfase Alarma	Tipo de Variable
Tensión Línea a Línea	V	480	504	456	0 s	Analógica
Desbalance de Tensión	%	0	1%	-1%	0 s	Analógica
Desbalance de Corriente de Motor	%	0	1%	-1%	0 s	Analógica
Corriente de Motor de 60 hp (Condensación)	A	72	83	0	12 s	Analógica
Corriente de Motor de 25 hp (Primaria)	A	30	35	0	12 s	Analógica
Corriente de Motor de 100 hp (Secundaria)	A	120	138	0	12 s	Analógica
Corriente de Motor de 50 hp (Secundaria)	A	60	69	0	12 s	Analógica
Corriente de Motor de 7,5 hp (Secundaria)	A	9	10	0	12 s	Analógica
Corriente de Motor de 25 hp (T Enfriamiento)	A	24	28	0	12 s	Analógica
Corriente Motor Chiller 400 tr	A	311	358	0	12 s	Analógica

Para el desarrollo de la aplicación del SCADA es necesario seleccionar el Software sobre el cual se programara el mismo, para ello se realiza una comparativa entre los siguientes programas para creación de SCADA, considerando que el mismo requiere de unos 5000 objetos o 15000 etiquetas (tags) (1objeto $\approx$ 3 tags).

Tabla 23. Resumen de las características de los Software de SCADA considerados en el caso de estudio.

SCADA	Fabricante	Licencia	Tiempo en el Mercado	Costo de Licencia (5000 objetos o 15000 tags)	Plataforma	Presencia en Venezuela
WONDERWARE	Ivensys Ltd. / Schneider	Propietaria	17 Años	94.500 €	Windows	SI
IFIX	General Electric	Propietaria	25 Años	138.000 €	Windows	NO
LABVIEW	National Instruments.	Propietaria	29 Años	4300 € /2PCS	Windows / IOS / Linux	SI
IGSS	Schneider	Propietaria	22 Años	51.500 € / Versión de 50 Objetos Gratis	Windows	SI

El software IFIX™ se descarta al no poseer representación en el país lo cual dificulta para la UCV su adquisición, aparte de que sería muy costoso el soporte técnico del mismo.

Con respecto al Wonderware™ se descarta por el costo asociado de adquisición de la licencia.

Considerando que con el IGSS se pueden hacer versiones operativas de bajo costo (licencia de 50 objetos gratis) de HMI permitiendo al usuario final probar el software en un periodo más prolongado implementando SCADAs pilotos en el SPAH de la UCV, y que en caso de adquirir la licencia del programa para implementar la totalidad del SCADA es el software más económico, sin dejar a un

lado que la marca posee una trayectoria de 22 años en el mercado, se escoge para la realización del SCADA el software IGSS™ de Schneider™.

El IGSS™ es un software para la programación de SCADAs desarrollado bajo ambiente Windows® y basado en Visual Studio® lo cual permite una programación orientada a objetos.

Entre las ventajas del IGSS son que permite al usuario programar y ajustar las HMI de manera fácil y poco laboriosa, permitiendo agregar nuevas variables a supervisar o creando nuevos índices a supervisar, otra gran ventaja es que si por alguna razón es sustituido algún equipo por otro se pueden ajustar los puntos de consigna acorde con la nueva máquina. Ver Anexo 13 para resumen de especificaciones de licencia de software SCADA a adquirir.

Para llevar a cabo las labores de supervisión, mantenimiento y uso del software de SCADA el IGSS posee una herramienta que permite crear distintos niveles de acceso y edición del programa, así pues se establecen:

Niveles de acceso al Software SCADA:

Nivel Supervisorio: permite observar todas las variables y alarmas del programa, sin embargo no permite edición de los parámetros o creación de nuevos objetos.

Nivel Mantenimiento: permite a la persona autorizada realizar labores de mantenimiento del programa así como editar las consignas de las variables supervisadas.

Nivel Programador: este tipo de acceso permite que el usuario pueda realizar todas las actividades de los niveles anteriores con el adicional que es posible la edición del software SCADA.

Para el desarrollo de las interfaces gráficas del SCADA del Sistema de Climatización se plantea agrupar cada subsistema del mismo en una pantalla o Interfaz Humano Máquina (HMI) para una visualización fácil del estado de cada parte del mismo siguiendo como procedimiento de programación el descrito en el Anexo 7, así tenemos:

HMI de Torres de Enfriamiento: agrupa las 4 torres de enfriamiento en 3 pantallas o formularios, donde las 2 primeras representan a las torres de enfriamiento 1 - 2 y 3 - 4 respectivamente, y la tercera informa del estado de la calidad del agua de condensación y sus niveles en las torres de enfriamiento. En el Anexo 5, se muestra una descripción de los objetos contenidos en cada formulario mientras que en el Anexo 6 se muestra una impresión de pantalla de la HMI diseñada.

HMI de Bombas de Condensación y Principales: agrupa las bombas de condensación y principales en dos pantallas, una para las 4 bombas de condensación y otra para las 4 bombas principales. Ver Anexo 5, donde se muestra una descripción de los objetos contenidos en cada formulario mientras y el Anexo 6 el cual ilustra el diseño de las HMI desarrolladas para este subsistema.

HMI de Chillers: agrupa los Chillers en dos pantallas, una para los Chillers 1 y 2 y la segunda para los Chillers 3 y 4. Ver Anexos 5, donde se muestra una descripción de los objetos contenidos en cada formulario mientras y el Anexo 6 el cual ilustra el diseño de las HMI desarrolladas para este sub sistema.

HMI de Bombas Secundarias: esta HMI agrupa las diez bombas secundarias para los cinco circuitos proyectados (2 bombas alternadas por circuito) en tres pantallas, la primera incluye el circuito de Biblioteca Central y Aula Magna, la segunda Sala de Conciertos y Paraninfo y la tercera el circuito de agua helada de Rectorado, Museo y Comunicaciones. En el Anexo 5, se muestra una descripción de los objetos contenidos en cada formulario mientras que en el Anexo 6 se muestra una impresión de pantalla de la HMI diseñada.

HMI de CCM: esta muestra el estado del sistema de distribución de potencia del sistema de climatización, para ello se crearon 5 formularios donde el primero muestra el estado de las celdas principales SM1MPPP, SB1DCPS y SBIPZ, el segundo muestra los 5 módulos del CCM 1, el tercer muestra los 7 módulos del CCM 2, el cuarto muestra los 6 primeros módulos del CCM 3 y finalmente el quinto los 6 módulos restantes del CCM 3. Ver Anexo 5 para detalles sobre los objetos contenidos en los formularios, en el Anexo 6 se muestra el diseño de la interfaz gráfica de la HMI.

HMI de UMA: está diseñado para mostrar todas las variables asociadas a una UMA por formulario, cada uno contiene todas las variables mostradas en el Anexo 5 y su diseño se muestra en el Anexo 6.

HMI de Fancoils: estructurado de forma similar a las HMI de las UMAs solo que adaptado a los objetos y variables asociadas a los Fancoils, ver Anexos 5 y 6 para detalles.

Objetos Comunes en las HMI: estos objetos se encuentran en cada una de las HMI programadas y cada uno cumple una función específica dentro del programa, a continuación se describen cada uno de ellos.

Espacio en HHD: es un objeto que se encarga de supervisar el espacio en el disco duro disponible, alertando al usuario que el mismo tiene poco espacio (10% de la Capacidad total) indicando que es necesario un respaldo de la base de datos para liberar espacio.

DRIVER: este es un objeto que se encarga de supervisar la conexión con el PLC, el mismo registra los errores de conexión y de envío y recepción de paquetes, una alarma en el mismo indica que la HMI no se comunica con el PLC.

Alarmas:

En el caso de las alarmas cada una está asociada con una de las variables supervisadas, las mismas son mostradas en una bitácora con el tipo de alarma almacenándose en el registro el momento en el cual se generó y si la misma fue reconocida por alguno de los operadores registrados en el sistema (ver Anexo 7), además de la alarma se muestra un texto con una pequeña descripción de las acciones que debería tomar el operador para corregirla. Entre las alarmas que se muestran se pueden agrupar en las siguientes:

Alarmas Altas: son aquellas que están asociadas a valores de las variables supervisadas por encima de los puntos de consigna establecidos (generalmente +5 % del valor nominal).

Alarmas Bajas: son aquellas que están asociadas a valores de las variables supervisadas por debajo de los parámetros establecidos (generalmente -5 % del valor nominal).

Alarmas Digitales: estas alarmas están asociadas al estado lógico de una variable booleana las cuales están conectadas con los objetos digitales.

Estados de los equipos:

Son mostrados por los objetos digitales que permiten visualizar la operación de una determinada máquina, los mismos habilitan algunos comandos que se puedan enviar al Sistema de Control (ver Anexo 7), entre los estados que poseen las máquinas tenemos los siguientes:

Apagado: Este estado indica que la máquina se encuentra desenergizada pero disponible para que el Sistema de Control opere sobre ella.

Encendido: Indica que la máquina está operando normalmente.

Averiado: Indica que la maquina está averiada, este estado se genera automáticamente cuando ocurre una alarma asociada con la operación del mismo, por ejemplo un consumo excesivo de corriente o avería de tensión, para cambiar este estado es necesario reconocer las alarmas que lo generaron además de enviar el comando de Mantenimiento al Sistema de Control.

Mantenimiento: Este estado indica al Sistema de Control que la máquina no está disponible para funcionar, en este sentido el mismo deberá tomar decisiones para que el Sistema de Climatización siga operando, para que este estado se muestre el operador debe enviar al Sistema de Control el comando “Mantenimiento”, y solo se podrá salir de este estado si se envía el comando “En Servicio” al mismo.

El control desde la HMI:

El SCADA permite mediante los objetos digitales enviar comandos a los PLC para realizar acciones de control sobre los equipos en campo, sin embargo, este comando debe ser interpretado y ejecutado por el PLC de modo de mantener estable el funcionamiento del Sistema de Climatización (ver Anexo 7). Entre los comandos que se pueden enviar se tiene lo siguiente:

Apagar: permite ordenar el apagado de una máquina dentro del Sistema de Producción de Agua Helada, sin embargo para ejecutar este comando es necesario en algunos casos detener otros equipos para evitar daños en el sistema, por ejemplo: si se desea apagar una bomba del circuito de condensación el PLC verificará si el Chiller asociado al mismo está encendido, en caso de ser cierto, apagará el Chiller primero y luego la bomba de condensación.

Encender: permite energizar una máquina para su funcionamiento, al igual que el caso del comando apagar, el PLC que ejecuta la orden debe verificar que están las condiciones dadas para que el equipo funcione sin problema alguno.

Mantenimiento: permite al operador poner en servicio un determinado equipo informando al sistema de control que no debe poner en funcionamiento la máquina y todos los subsistemas asociados al mismo (Conjunto Chiller, Bomba Principal, Bomba Condensación), este comando solo está disponible cuando el equipo está en estado de “Apagado” o “Averiado”.

En servicio: permite al operador poner a disposición del Sistema de Control una máquina que estaba en mantenimiento, este comando solo está disponible en el estado de “Mantenimiento”.

Los históricos:

Automáticamente el SCADA archiva en una base de datos los valores de todas las variables de interés cada 2 minutos archivando el valor en el que existe en el instante de tiempo en que se toma la muestra, las alarmas también son registradas en el mismo, sin embargo estas son guardadas en el momento en que se genera, se reconocen y dejan de ser generadas.

El usuario puede generar 2 tipos de gráficos, uno que muestra los valores que son muestreados en tiempo real y otro que grafica los valores históricos almacenados en la base de datos, pudiendo comparar varias variables en un mismo gráfico (ver Anexo 7).

La simulación y programación:

A lo largo de todo el proceso de programación se realizaron depuraciones para verificar el funcionamiento deseado del programa, para ello fue necesario el empleo de 2 computadores donde en uno se realiza la programación del SCADA empleando el IGSS TM y en el otro mediante un software gratuito se emula la memoria del PLC, la comunicación en este caso se realiza empleando el protocolo MODBUS sobre TCP/IP la cual es compatible con la infraestructura de red disponible para redes de ordenadores. Ver figura 12.

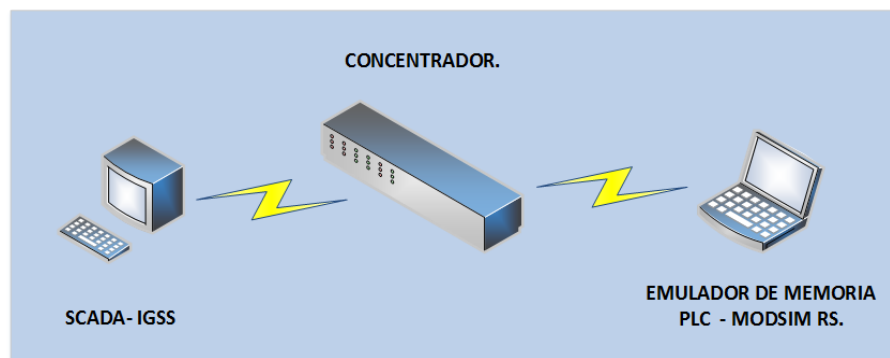


Figura 13. Esquema de red para programación de SCADA.

Este esquema de programación permite además observar durante la programación del SCADA la respuesta del mismo ante los distintos valores, rangos y estados de las variables analógicas y digitales presentes, lo cual facilita la verificación del funcionamiento de las alarmas de sistema.

Cabe destacar que para realizar una programación ordenada de la lectura de las variables desde la memoria de programa es necesario la elaboración de un mapa de memoria de variables y alarmas, esto con el fin de estandarizar en todas las HMI la misma estructura lo cual permitiría realizar diagnósticos y mejoras en el software de SCADA (Ver Anexo 8).

En este sentido se plantea el uso de la región de memoria asociado a los registros de almacenamiento (*holding registers*) para almacenar las variables analógicas, esta región de memoria empieza en la dirección **400001d**, y está diseñada para albergar variables enteras de hasta 2 bytes de longitud, en el software de SCADA se realizarán las operaciones matemáticas necesarias para obtener el valor real de las mismas.

Para almacenar gran número de variables booleanas asociadas a un mismo equipo se emplean los registros de almacenamiento (*holding registers*) realizando el tratamiento de la información para tal fin.

Para el caso de las variables digitales menores (usadas por los sensores de nivel) se emplean los registros booleanos que empiecen en la dirección **100001d** la capacidad de los mismos es de 1 bit.

CAPITULO V

MANUAL DE USUARIO

En la elaboración del manual del usuario para la aplicación desarrollada de SCADA se definió cuáles son los tópicos que contendrá el mismo, estableciendo así la información que se comunicará considerando además que está orientado a personas con conocimientos básicos de manejo de programas en ambiente Windows® y software de programación similares a Visual Studio®.

Objetivo del Manual de Usuario:

Brinda al usuario final una guía de las posibilidades que proporciona el SCADA del Sistema de Climatización del CDC - UCV, así como de las posibles acciones a tomar en caso de algunas averías del mismo, evitando así el uso de un soporte técnico para resolverlos los cuales incurrirían en gastos incensarios por parte del cliente.

En el manual también se condensa el procedimiento de programación y edición del SCADA lo cual le brinda al usuario la posibilidad de personalización y adaptación del mismo ante cambios o mejoras en la infraestructura del sistema observado evitando así por desactualización de programación falsas alarmas y/o positivos en el mismo, esto también facilita la incorporación de nuevos parámetros supervisables de interés mejorando la adaptabilidad del software la infraestructura cambiante de la Ciudad Universitaria de Caracas alargando la vida útil del software.

Es ese sentido se estableció lo siguiente:

Estructura para el manual de usuario:

1. **Índice:** en él se citan los tópicos y su ubicación dentro del manual de usuario.

2. **Advertencias:** esta sección explica los riesgos de operar el mismo además de algunas precauciones de seguridad que debe tomar el operador a la hora de utilizar el SCADA. Las mismas se dividen en:

- a. Riesgos para el operador del programa.
- b. Riesgos para el personal operativo asociado al funcionamiento del SCADA.
- c. Advertencias de modificación del SCADA.

3. **Contenido:** en él se incluyen las funciones y posibilidades del SCADA, incorporando una guía paso a paso con imágenes de los procedimientos para la correcta operación del software. Este a su vez se divide en lo siguiente:

- a. Estructura general del SCADA.
- b. Los niveles de Acceso.
- c. Variables disponibles.
- d. Históricos de variables y eventos.
- e. Metodología de creación y edición de objetos.
- f. Protocolo de arranque del SCADA.

4. **Guía de resolución de problemas:** se muestra una lista de problemas comunes y sus posibles acciones para solucionarlos.

Para detalles en la estructura del Manual de Usuario ver el Anexo 7.

CAPITULO VI

VERIFICACIÓN DEL SCADA

Una vez culminado el proceso de programación fue necesario verificar el funcionamiento del SCADA en el sistema implementado, para ello en primera instancia se planteó implementar y verificar directamente en Sistema de Climatización del CDC de la UCV, sin embargo, en vista de que no existe instalada una infraestructura de control y supervisión para el SCADA, así como tampoco los sensores, actuadores y controladores que permitan interactuar con el sistema desde la computadora, fue necesario emular o simular en un ordenador la red de control y el sistema de climatización, para ello se estableció lo siguiente:

Objetivos de verificación:

- Emular la red de control con el objeto de verificar que el SCADA se comunica exitosamente mediante el empleo del protocolo de comunicación con la misma, no es necesario simular la operación lógica de los PLC del sistema motivado a que el objetivo final es observar el comportamiento del SCADA ante distintas condiciones del Sistema de Climatización del CDC-UCV.

- Simular las variables supervisadas por el SCADA, haciendo énfasis en la posibilidad de inducir anomalías en las mismas, debe tomarse en cuenta que los programas de emulación deben correr en ordenadores personales.

Para emular la red de control se creó una infraestructura que permite el flujo de información tal y como sería cuando esté instalado el sistema totalmente, en este sentido se planteó emular la memoria accesible de los PLC los cuales estarán bajo

una misma red Ethernet, permitiendo al SCADA que corre en un ordenador y el emulador envíen y reciban información hacia los PLCs correspondientes, ver Figura 13.



Figura 14. Esquema de comunicación en la Red de Control para la verificación del SCADA programado.

Estructura de la red de control emulada.

La misma se conformó por las siguientes partes:

Computador SCADA: es una computadora donde se instala el SCADA en el cual se interactúa tal y como si el mismo estuviera operando en el Sistema de Climatización del CDC-UCV.

Computador emulador de la memoria de PLC: en ella se corre un programa que emula la memoria de un PLC (ModSim RS) el cual permite el acceso por protocolo Modbus TCP/IP para enviar los comandos de interrogación de memoria en una red WIFI o Ethernet.

Computador Huésped del Emulador del Sistema de Climatización: en este ordenador está instalado un software que emula partes del sistema de Climatización

del CDC-UCV, lo cual posibilita generar las condiciones nominales de operación de las máquinas así como la simulación de anomalías en las mismas.

Para la simulación de las variables supervisadas del Sistema de Climatización se estableció lo siguiente:

- Se emula 1 equipo por cada subsistema siendo entonces 1 torre de enfriamiento, 1 bomba principal, 1 Chiller, 1 bomba de condensación, 1 bomba secundaria, 1 UMA, 1 Fancoil y la celda principal de distribución de potencia.

- La emulación se hizo de manera separada es decir uno a la vez, esto aprovechando que en el SCADA se programó un subsistema por HMI.

- Se empleó el mismo software de programación IGSSTM facilitando la programación del mismo, esto permitió crear las interfaces similares a las HMI programadas.

- No fue necesario el modelado de las máquinas involucradas con alta precisión matemática, motivado a que el objetivo del emulador es probar el SCADA ante averías y anomalías de los mismos, además de que los equipos emulados al operar normalmente muestran comportamientos estables en torno a los valores nominales de los mismos, siendo solamente en el arranque de ellos el único momento donde las variables medidas evolucionan en el tiempo.

- Como en la mayoría de los casos las máquinas emuladas son motores se destacan los siguientes aspectos de emulación:

- a. Corrientes de arranque de motores de jaula de ardilla en caso de accionamiento directo, estrella – triángulo, con arrancador suave (rampa de tensión), son modeladas de manera aproximada mediante funciones exponenciales y rectas, no se emplearon modelos matemáticos asociados a los campos electromagnéticos rotatorios motivado a que si los motores están en condiciones de operación normales los mismos se

comportarán como cargas trifásicas balanceadas cuyos parámetros son los nominales.

- b. Los aspectos más importantes durante el arranque de los motores son los sobrepicos de corriente a alto deslizamiento así como los límites máximos de duración del mismo (stal time 12 s).
- c. En el caso de las variables mecánicas se plantea que las mismas evolucionan proporcionalmente con aumentar la velocidad de giro de los motores que las generan por lo tanto su modelo transitorio (o mientras arranca la máquina) puede ser recto o exponencial para facilidad de programación. No se plantea el modelado detallado de la mecánica de los fluidos en vista que el SCADA no fue concebido para supervisar tales fenómenos.
- d. Para el caso de las variables térmicas se tiene en consideración que las mismas evolucionan lentamente en el tiempo (minutos), además que son modeladas en buena medida por ecuaciones diferenciales a coeficientes constantes de primer orden cuyas soluciones matemáticas son exponenciales, nótese que la función del sistema en general es obtener una determinada temperatura de confort en el ambiente climatizado lo cual se reduce a llevar la temperatura del mismo a un valor determinado.
- e. Con respecto a las anormalidades, son modeladas con la posibilidad de adicionar valores al valor de la variables simulada.
- f. Las alarmas digitales se generan empleando un conjunto de objetos digitales (botones) que al accionarlos le indiquen al

SCADA que se generó una determinada alarma reconocida por el sistema de control.

- g. Con respecto a los comandos y estados se emulan similar a las alarmas digitales al modificar los bits que los registran.

Programación del Modelo Matemático de los equipos del SCADA.

Para el emulador de los distintos equipos se construyó una HMI que sirve como panel de manipulación de las variables el cual está dividido de la siguiente forma:

Subpanel de Alarmas: en este se muestran 16 botones para representar el número máximo de alarmas por objeto consideradas en el SCADA, los cuales al manipularse se está escribiendo en la variable asociada a la alarma del objeto emulado un 1 lógico indicando el anuncio por parte del PLC de la alarma. Ver Figura 14.

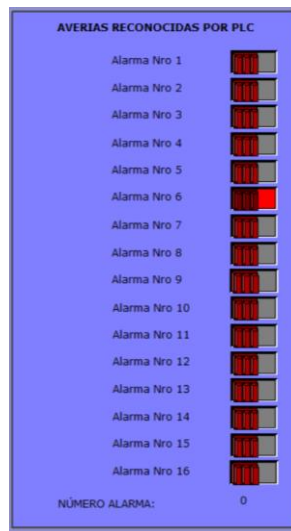


Figura 15. Panel de Alarmas.

Subpanel de Variables Analógicas: en este se generan los valores de las variables de interés emuladas del equipo, el mismo cuenta con un interruptor que

inicia la simulación al accionarse y se muestran los valores de las variables que se escriben en la memoria del PLC en tiempo real, además posee una sección donde es posible agregar una perturbación en las variables al cambiar el valor del mismo ver Figura 15. Ver Anexo 10 para detalles en el modelo matemático empleado para la programación de las variables analógicas.

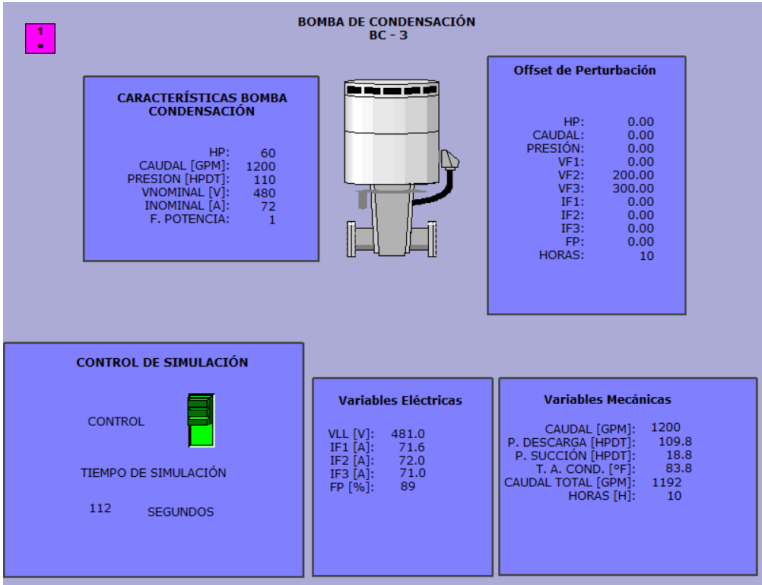


Figura 16. Subpanel de Variables Analógicas.

Si se hace click sobre el objeto a emular es posible enviar un comando que escribe en la memoria del PLC el estado de la máquina, además de poseer un panel luminoso que permite mostrar los comandos recibidos desde el SCADA. Ver Figura 16 y Figura 17.

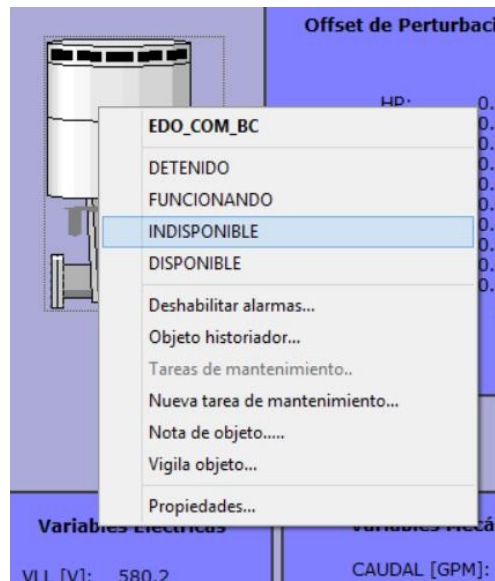


Figura 17. Comandos de Estado del Objeto Emulado.

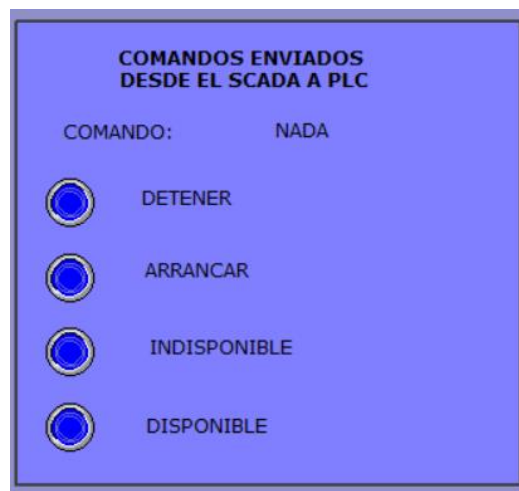


Figura 18. Comandos Recibidos del SCADA para el Objeto.

Verificación del Funcionamiento del SCADA mediante la emulación del Sistema de Climatización.

Para ello se elaboró un procedimiento para verificar cada HMI programada en donde se realizan una serie de pasos sistemáticos para la comprobación así como el empleo de una lista de verificación con todos los puntos de interés para cada HMI (ver Anexo 12).

•**Verificación de comunicación entre el SCADA y el PLC:** esta prueba ocurre al verificar en la consola de estado de comunicación del SCADA que no existen errores de comunicación entre el PLC emulado y el SCADA, también se verifica al no registrar alarmas asociadas al objeto driver de cada HMI, un error en la misma se mostrará apenas empiece el funcionamiento del software.

•**Verificación de la actualización de los valores de las variables supervisadas:** esta prueba se realiza al observar el cambio de todas las variables una vez empezada la emulación del sistema, además de observar cambios en determinada variable una vez se ajuste a discreción por parte del usuario en el programa emulador.

•**Verificación de los comandos y estados:** en el SCADA al enviar un comando al objeto en el software emulador se mostrará el mismo, igual ocurre en el caso de los estados solo que los mismos son visualizados en la HMI una vez se envía un comando desde el emulador.

•**Verificación de alarmas digitales:** el procedimiento de verificación consiste en accionar botones en el panel de alarmas en el emulador y visualizar en el registro de alarmas la generada por esa acción.

•**Verificación de alarmas analógicas:** esta prueba se realiza al manipular el offset de la variable supervisada desde el emulador para que el SCADA observe que la misma se encuentre en un rango fuera del normal reconociendo la alarma. Ver Anexo 11 para detalles en las HMI programadas para la verificación del SCADA.

En el Anexo 14 (Solo disponible en versión digital) es posible observar el proceso mediante el cual se realizan las verificaciones del SCADA al seguir los procedimientos descritos en el presente trabajo siguiendo los ítems contenidos en el Anexo 12.

CONCLUSIONES

Del levantamiento de información se determinó que los equipos instalados en su mayoría poseen la capacidad de comunicarse mediante el protocolo Modbus a excepción de los Chillers cuyo lenguaje de comunicación es LonTalk o BacNet y en el caso de los sensores de temperatura y caudal donde la medición de sus variables es representada en señales analógicas de tensión.

A partir del análisis a los distintos protocolos de comunicación soportados por los dispositivos de campo instalados y de las premisas establecidas en el presente trabajo se obtiene que para la red de campo se empleará el protocolo ModBus / ASCII sobre la capa física RS-485 a una velocidad de 115.2 kbps mientras que para el caso de la red de control se empleará ModBus TCP/IP sobre Ethernet a 100 MBps (Fast Ethernet).

Para la integración de todos los equipos de campo en una misma red de control es necesario en algunos casos, el empleo de Gateway como mediadores en la comunicación entre los distintos medios o protocolos. Para su dimensionamiento es necesario en líneas generales que soporten la velocidad de comunicación a la cual están conectados así como la bidireccionalidad de la información, para el presente caso de estudio es necesario la implementación de un Gateway que medie la comunicación entre el controlador central de los Chillers (BacNet / Lontalk) y el PLC que controla el subsistema de Chillers.

Del análisis realizado a los tipos de conductores especificados en la norma TIA/EIA 485 se determinó que la longitud máxima del bus RS-485 permitida por criterios de atenuación de señal es de 1200 m a una velocidad de datos de 115.2 kbps.

Luego de analizar la estructura del sistema de climatización se establece que el sistema de control estará subdividido en varios subsistemas coordinados por un controlador maestro, esto con la finalidad de descentralizar la lógica de control sin permitir comportamientos disgregados entre cada uno de ellos.

En el análisis del sistema de climatización fue posible determinar a grandes rasgos las características de los controladores, sin embargo, no fue posible establecer parámetros como la memoria RAM o capacidad de cómputo, motivado a que esos datos son obtenidos de manera precisa una vez compilados los programas de los mismos.

Es necesario realizar un proyecto de instalaciones mecánicas para determinar las dimensiones de los actuadores de las válvulas.

Luego de hacer una matriz de comparación entre los distintos software para el desarrollo de SCADAs más reconocidos se determinó que el programa acorde con las restricciones expuestas en el presente trabajo es el IGSS de Schneider, puede ser implementado con pruebas pilotos de versiones libres completamente funcionales con un número limitado de objetos.

Luego del desarrollo del SCADA para el Sistema de Climatización del CDC-UCV se obtuvo un software dividido en los distintos subsistemas del mismo permitiendo implementarlo en etapas de acuerdo a la ejecución de la obra del sistema de supervisión, esto facilita la depuración de posibles problemas suscitados mediante el proceso de construcción, además que reduce el tiempo de culminación del proyecto.

En la elaboración del manual de usuario para la operación del SCADA desarrollado se logró una guía que permite al usuario operar de manera segura el sistema y ofrecer la posibilidad de modificar el programa para su adaptación a los cambios del sistema supervisado lo cual extiende la vida útil del mismo.

Luego de elaborar el software para la verificación del SCADA se pudo constatar el funcionamiento del mismo ante los funcionamientos normales y anormales del sistema de climatización con la ventaja del ahorro de costos gracias a poder emular las variables físicas y eléctricas supervisadas en el mismo.

RECOMENDACIONES

Mantener una base de datos centralizada actualizada con información que describa eléctrica y mecánicamente los distintos equipos existentes en las instalaciones de la UCV, esto con la finalidad de facilitar el mantenimiento y mejoras en los sistemas.

Evaluar nuevas tecnologías para las redes de campo que al implementarse en edificios patrimoniales como el caso de la Ciudad Universitaria de Caracas no requiera de una intervención tan invasiva y que suponga un ahorro monetario, esto con el objetivo de preservar lo más posible los edificios con las construcciones originales de cuando la misma fue contraída y así preservar su valor artístico.

Crear una línea de investigación en el desarrollo de un software de SCADA con el objeto de reducir los costos asociados a la licencia del programa compilador del mismo, esto permitiría a la UCV ofrecer servicios de implantación de SCADAs a distintas empresas en el país.

Elaborar una investigación que permita determinar las características de los actuadores de las válvulas en función del diámetro de la tubería a intervenir y a las características establecidas en el proyecto de instalaciones mecánicas.

Crear una línea de investigación que permita mediante una manera aceptable la determinación de las características de cómputos y dimensiones de las memorias en los controladores sin tener que compilar el software del mismo esto con la finalidad de poder discriminar con mayor precisión modelos de PLC's en el momento de la selección del mismo.

Con el objeto de integrar con menor costo a la red de campo propuesta los Chillers existentes en el SPAH, se recomienda crear una línea de investigación que permita el desarrollo de un Gateway que medie la comunicación entre el protocolo de comunicación soportado por los mismos (BacNet y Lontalk) y el del bus de campo (Modbus). De esta manera se reduciría la redundancia de controladores existente en el subsistema asociado.

Realizar una simulación emulando completamente el SPAH para evaluar el comportamiento del SCADA programado ante la total implementación del proyecto de climatización propuesto en el CDC de la UCV, lo cual permitirá entre otras cosas observar el comportamiento del mismo ante maniobras o averías sobre el mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Miguel, Apuntes de Aire Acondicionado, Quinta ed., Caracas, 1990.
- [2] National Electrical Manufacturers Association, Safety Standard and Guide for Selection, Installation, and Use of Electric Motors, Rosslyn: National Electrical Manufacturers Association, 2001.
- [3] Rockwell Automation, «Conceptos básicos sobre el uso de los motores de inducción trifásicos,» Rockwell Automation, Madrid, 1996.
- [4] 2013. [En línea]. Available: <http://www.galeon.com/hamd/pdf/scada.pdf>.
- [5] R. S. Manel, «Sistema SCADA para una planta de producción de envasado de líquidos,» Bellaterra, Universitat Autònoma de Barceona, 2008, pp. 10-65.
- [6] International Electrotechnical Commission, Programmable Controllers, Geneva: IEC Central Office, 2003.
- [7] International Electrotechnical Commission, Programmable controllers, Ginebra: International Electrotechnical Commission, 2003.
- [8] ISO/ IEC (7498-1 : 1994), «Information technology - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model: The Basic Model,» Ginebra, International Organization for Standardization ISO., pp. 32-52.
- [9] R. Ares, 2013. [En línea]. Available: <http://www.robertoares.com.ar/wp-content/uploads/2010/06/Seccion-3.pdf>.
- [10] S. Hernández, En busca de lo sublime, Caracas: Arte, 2006.
- [11] A. Robaina D, «Proyecto de Instalaciones Mecánicas del Complejo Directivo Cultural de la UCV.,» Caracas, 2001.
- [12] A. Cepeda, «Proyecto P04EL009: Acometida Eléctrica del Sistema de SPAH del CDC - UCV,» Caracas, 2005.
- [13] G. Gabriel, «Estatus Enero de 2008 del SPAH de Biblioteca Central.,» COPRED, Caracas, 2008.

- [14] Electronic Industries Alliance, «Application Guidelines for TIA/EIA-485-A,» EIA, Arlington, 2006.
- [15] Institute of Electrical and Electronics Engineers, «IEEE Std 802.3,» IEEE, New York, 1980.
- [16] COVENIN, «Servicios Eléctricos. Indicadores de Tecnicos de Calidad.,» Codelectra, Caracas, 1996.
- [17] R. Ares, 2013. [En línea]. Available: <http://www.robertoares.com.ar/wp-content/uploads/2010/06/Seccion-2.pdf>.
- [18] G. Ingeniería, 2013. [En línea]. Available: <http://www.gdingeneria.com/SCADA.htm>.
- [19] U. d. Córdova, 2013. [En línea]. Available: <http://www.uco.es/investiga/grupos/eatco/automatica/ihm/descargar/scada.pdf>.
- [20] D. Y. O. Carlos A., Ampliación y Actualización del Sistema SCADA del Laboratorio de Redes de Distribución de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2008.
- [21] L. M. Ortiz L., Gateway para la Integración de RTU con Protocolos Propietarios a una Red de Adquisición de Datos Sobre IFix, Caracas, 2003.

BIBLIOGRAFIA

- A. Cepeda, «Proyecto P04EL009: Acometida Eléctrica del Sistema de SPAH del CDC - UCV,» Caracas, 2005.
- A. Robaina D, «Proyecto de Instalaciones Mecánicas del Complejo Directivo Cultural de la UCV.,» Caracas, 2001.
- C. Miguel, Apuntes de Aire Acondicionado, Quinta ed., Caracas, 1990.
- COVENIN, «Servicios Eléctricos. Indicadores de Tecnicos de Calidad.,» Codelectra, Caracas, 1996.
- D. Y. O. Carlos A., Ampliación y Actualización del Sistema SCADA del Laboratorio de Redes de Distribución de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Venezuela, Carcas, 2008.
- Electronic Industries Allieance, «Application Guidelines for TIA/EIA-485-A,» EIA, Arlington, 2006.
- G. Gabriel, «Estatus Enero de 2008 del SPAH de Biblioteca Central.,» COPRED, Caracas, 2008.
- G. Ingeniería, 2013. [En línea]. Available: <http://www.gdingeneria.com/SCADA.htm>.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, «IEEE Std 802.3,» IEEE, New York, 1980.
- International Electrotechnical Commission, Programmable Controllers, Geneva: IEC Central Office, 2003.
- ISO/ IEC (7498-1 : 1994), «Information technology - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model: The Basic Model,» Ginebra, International Organization for Standardization ISO., pp. 32-52.
- L. M. Ortiz L., Gateway para la Integración de RTU con Protocolos Propietarios a una Red de Adquisición de Datos Sobre IFix, Caracas, 2003.

National Electrical Manufacturers Association, Safety Standard and Guide for Selection, Installation, and Use of Electric Motors, Rosslyn: National Electrical Manufacturers Association, 2001.

R. Ares, 2013. [En línea]. Available:
<http://www.robertoares.com.ar/wp-content/uploads/2010/06/Seccion-3.pdf>.

R. Ares, 2013. [En línea]. Available:
<http://www.robertoares.com.ar/wp-content/uploads/2010/06/Seccion-2.pdf>.

R. S. Manel, «Sistema SCADA para una planta de producción de envasado de líquidos,» Bellaterra, Universitat Autònoma de Barceona, 2008, pp. 10-65.

Rockwell Automation, «Conceptos básicos sobre el uso de los motores de inducción trifásicos,» Rockwell Automation, Madrid, 1996.

U. d. Córdoba, 2013. [En línea]. Available:
<http://www.uco.es/investiga/grupos/eatco/automatica/ihm/descargar/scada.pdf>.

ANEXOS.

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1. Modelos de Fichas de Levantamiento

ANEXO 2. Fichas de Levantamiento

ANEXO 3. Atenuación del Conductor

ANEXO 4. Diagramas de Flujo de Programas

ANEXO 5. Lista Resumen de Objetos en SCADA

ANEXO 6. Capturas de Pantalla de HMI

ANEXO 7. Manual de Usuario

ANEXO 8. Mapa de Memoria de PLC

ANEXO 9. Diagramas de Redes de Control

ANEXO 10. Lista de ecuaciones para modelado de Sistema de Climatización

ANEXO 11. Capturas de Pantallas de Equipos Emulados

ANEXO 12. Tablas de Pruebas

ANEXO 13. Cómputos Métricos

ANEXO 14. Videos de Simulación de SCADA