



Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Control Automático



Tesis para optar por el Título de Máster en Automática.

TÍTULO:

*Paquete Tecnológico: Sistema de Supervisión y Control utilizando
Protocolos de Comunicación Inalámbrica.*

AUTOR:

Ing. José Ricardo Núñez Álvarez

TUTORA:

Dra. Ania Lussón Cervantes

Santiago de Cuba
Diciembre 2014

DEDICATORIA

DEDICATORIA:

A mis padres por su incansable insistencia y sus largas horas de charlas sobre la importancia y necesidad de cursar estudios de postgrados.

A mis hijos Ana, Ricardito y Tony que son mi razón de ser y por los cuales vale la pena realizar cualquier esfuerzo y sacrificio.

A mi esposa por su comprensión y apoyo incondicional para realizar los estudios de Maestría.

A mis suegros y cuñados por aportar su granito de arena en la culminación de este trabajo.

A mi hermana y sobrinos por ser parte importante de mi vida.

A mis familiares y amigos que siempre confiaron en mí.

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS:

En especial a mi tutora Dra. Ania Lussón Cervantes y al profesor MSc. Michel Sanz Pérez porque más que guías científicos han sido excelentes amigos. También al Dr. Reinel Beltrán Aguedo por su ayuda y contribución.

A todos los profesores del Departamento de Control Automático, en especial a la Dra. Yolanda Llosas Albuerne, al Lic. Luis Lamezón, al MSc. Julio Fong Barrio, al MSc. José Antonio Pullés, y al MSc. Félix Roldán por sus colaboraciones y consejos.

A todas aquellas personas de las que he aprendido algo nuevo.

RESUMEN:

En el presente trabajo se muestra la utilización de Protocolos de Comunicación Inalámbrica para desarrollar los sistemas de supervisión y control en dos instalaciones hoteleras de nuestro país: el Hotel “Las Américas”, en la provincia de Santiago de Cuba y el Hotel “Brisas Santa Lucía”, en la provincia de Camagüey.

En el Hotel “Las Américas”, ante la necesidad de monitorear y controlar eficientemente el sistema solar de calentamiento de agua, se desarrolla e implementa un sistema de supervisión y control utilizando el Protocolo ZigBee. En el Hotel “Brisas Santa Lucía”, debido a la insuficiencia de las acciones realizadas para garantizar la seguridad de los bloques habitacionales, se diseña e implementa un sistema de supervisión utilizando el Protocolo Inalámbrico MiWi dentro de cada habitación; integrándose lo implementado al sistema supervisorio mediante una Red Modbus usando las siguientes variables: Presencia, Detección de Humo y Detección de Intrusos.

Con la aplicación del Paquete Tecnológico mostrado en este trabajo, se resuelve un problema de Ingeniería causado por la carencia de sistemas automáticos para supervisar y controlar, lo que ha permitido aumentar la seguridad y eficiencia, ahorrar energía eléctrica y mejorar el confort en ambas entidades objeto de estudio.

ABSTRACT:

The use of Protocols for Wireless Communication is shown in the present work with the aim of developing supervision and control systems in two different hotels of our country: “Las Américas” Hotel, in Santiago de Cuba province, and “Brisas Santa Lucía”, in Camagüey province.

At “Las Américas” Hotel, since monitoring and control of the solar system to heat water was necessary to be efficiently done, a system for supervision and control using the ZigBee Protocol was developed and implemented. At “Brisas Santa Lucía” Hotel, as insufficient actions had been taken to guarantee safety of the different blocks of rooms, a system for supervision using MiWi Wireless Protocol was designed and implemented in every room and was integrated to the supervisory system by means of a Modbus Net using the following variables: Presence, Smoke Detection, and Detection of Intruders.

Putting into practice the Technological Package shown in this work, a problem of Engineering caused by lack of automatic systems for supervision and control has been solved, giving the possibility of increasing safety and efficiency, saving electricity, and improving comfort in the two entities object of study here.

NOTACIONES GENERALES:

AC: Alternating Current.

ACS: Agua Caliente Sanitaria.

ADAM: Advantech Data Acquisition Module.

APS: Application Support Sub-Layer.

CAN: Controller Area Network.

CPU: Unidad Central de Procesamiento.

DMA: Direct Memory Access.

DNI: Documento Nacional de Identidad.

DC: Direct Current.

ELO: Estación Local de Operación.

EUI: Identificador Único Extendido.

FMS: Sistemas de Manufactura Flexible.

FFD: Full Function Device.

GLP: Gas Licuado del Petróleo.

HMI: Interfaz Hombre-Máquina.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEM: Interferencias Electromagnéticas.

IRQ: Interrupt ReQuest.

ISA: Sociedad Americana de Instrumentos.

ISP: Proveedor de Servicios de Internet.

I2C: Inter- Integrated Circuits.

LAN: Red de Área Local.

LCD: Pantalla de Cristal Líquido.

LED: Diodo Emisor de Luz.

MAN: Metropolitan Area Network.

MiWi: Wireless Networking Protocol Stack.

MTU: Master Terminal Unit.

NTC: Negative Thermal Coefficient.

NWK: Network Layer.

OLE: Object Linking and Embedding.
OPC: OLE for Process Control.
OSI: Open System Interconnection.
PAN: Personal Area Network.
PC: Computadora Personal.
PDA: Asistente Digital Personal.
PIC: Peripheral Interface Controller.
PLC: Programmable Logic Controllers.
PTC: Positive Thermal Coefficient.
P2P: Red punto a punto.
RFD: Reduced Function Device.
RTD: Resistance Temperature Detector.
RTU: Remote Terminal Unit.
SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition.
SPI: Serial Programmable Interface.
UART: Transmisor-Receptor Asíncrono Universal.
USB: Universal Serial Bus.
UML: Lenguaje Modelador Unificado.
VoIP: Voz sobre Protocolo de Internet.
WAN: Wide Area Network.
Wi-Fi: Wireless Fidelity.
WLAN: Wireless Local Area Network.
WPAN: Wireless Personal Area Network.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL Y DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.	6
Introducción.....	6
1.1. Caracterización conceptual e histórica de los sistemas de supervisión y control	6
1.1.1. Sistema de Supervisión y Control de Procesos EROS.....	13
1.1.2. Servidor para la gestión de la comunicación (OPC)	15
1.2. Fundamentación teórica de las tecnologías inalámbricas	16
1.2.1. Clasificación de las redes inalámbricas	18
1.2.2. Tecnología de las redes inalámbricas.....	23
Conclusiones parciales	28
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES HOTELERAS	29
Introducción.....	29
2.1. Hotel Las Américas	29
2.1.1. Descripción del flujo tecnológico del sistema de calentamiento de agua.....	30
2.1.2. Caracterización de la automatización actual	34
2.1.3. Propuesta de la estrategia de control para el sistema.....	35
2.2. Hotel Brisas Santa Lucía	38
2.2.1. Descripción del bloque habitacional.....	39
2.2.2. Consumo energético de la instalación	40
2.2.3. Sistemas de identificación del cliente	42
2.2.4. Caracterización del sistema con cerradura electrónica	44
2.2.5. Caracterización de los sensores	47
Conclusiones parciales	42
CAPÍTULO 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL	¡Error! Marcador no definido.
Introducción.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1. Hotel Las Américas	49
3.1.1. Descripción del sistema de automatización.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1.2. Diseño del hardware del sistema de automatización	53
3.1.2.1. Nodo controlador	53
3.1.2.1. Nodo de Supervisión	58
3.1.3. Diseño del Firmware. Configuración y programación de los nodos	60
3.1.3.1. Controlador. Nodo RFD o Dispositivo Final.....	60
3.1.3.2. Supervisión. Nodo FFD o Coordinador	61
3.1.3.3. Configuración de la trama de comunicación.....	62

ÍNDICE

3.1.4. Descripción del sistema de supervisión y control.....	63
3.2. Hotel Brisas Santa Lucía	68
3.2.1. Diseño del hardware para el sistema de supervisión	71
3.2.1.1. Arquitectura del nodo local	71
3.2.1.2. Arquitectura del nodo remoto	73
3.2.2. Diseño del Firmware. Configuración y programación de los nodos	74
3.2.2.1. Coordinador o Nodo FFD	74
3.2.2.2. Dispositivo final o Nodo RFD	76
3.2.2.3. Configuración de la trama de comunicación.....	77
3.2.3. Descripción del sistema de supervisión	78
Conclusiones parciales	83
CONCLUSIONES GENERALES	84
RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Pirámide de automatización industrial	6
Figura 1.2. Partes de un sistema SCADA	8
Figura 1.3. Esquema de los elementos de un sistema SCADA	10
Figura 1.4. Esquema del conexionado para las MTU y las RTU ¡Error! Marcador no definido.0	
Figura 1.5. RTU compacta típica.....	11
Figura 1.6. Ventana de inicio del sistema SCADA EROS 5.10.....	13
Figura 1.7. Interfaz OPC Cliente-servidor	15
Figura 1.8. Redes de comunicación inalámbrica	17
Figura 1.9. Cobertura y estándares de las redes inalámbricas.....	18
Figura 1.10. Ejemplo de Red de Área Amplia (Wide Área Network o WAN)	19
Figura 1.11. Cable coaxial RG-59	20
Figura 1.12. Cable de par trenzado de dos hilos RS-485	20
Figura 1.13. Sección de un cable de fibra óptica	20
Figura 1.14. Esquemas de las distintas topologías.....	22
Figura 1.15. Dispositivo como punto de acceso a Wi-Fi	24
Figura 1.16. Arquitectura del modelo OSI	25
Figura 1.17. Arquitectura en capas del estándar ZigBee/IEEE 802.15.4	26
Figura 1.18. Árbol del clusters IEEE 802.15.4	28
Figura 2.1. Hotel Las Américas	29
Figura 2.2: Esquema del sistema de calentamiento de agua.....	30
Figura 2.3. Colectores solares planos	31
Figura 2.4. Elementos de un colector solar plano.....	32
Figura 2.5. Bomba centrífuga marca GRUNDFOS UPE 25-40	33
Figura 2.6. Caldera de respaldo.....	33
Figura 2.7. Propuesta de la estrategia de control para el sistema	36
Figura 2.8. Condiciones de encendido y apagado de la bomba de circulación de agua a través de los colectores	37
Figura 2.9. Hotel Brisas Santa Lucía	39
Figura 2.10. Bloques habitacionales del Hotel.....	40
Figura 2.11. Dimensiones y distribución geográfica de las habitaciones	40
Figura 2.12. Interior de una habitación	41
Figura 2.13. Cerraduras electrónicas	44

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 2.14. Llave de tarjeta.....	45
Figura 2.15. Interruptor general que utiliza la llave de tarjeta.....	45
Figura 2.16. Sistema para reprogramar las llaves de tarjeta	46
Figura 2.17. Detector de presencia tipo PIR IR 120.....	47
Figura 2.18. Detector óptico de humo	47
Figura 2.19. Sensores de proximidad tipo Reed	48
Figura 3.1. Ubicación de los nodos: controlador y supervisión remota	49
Figura 3.2. Esquema en bloques para el Sistema de Automatización	50
Figura 3.3. Esquema en bloques del nodo controlador.....	52
Figura 3.4. Resistencia vs. Temperatura para RTD's y Termistores típicos	53
Figura 3.5. Circuito convertidor de temperatura en tensión	53
Figura 3.6. Diseño eléctrico del bloque pre-actuador para manipular una carga ON-OFF	55
Figura 3.7. Circuito de control y de potencia para el control de una bomba.....	55
Figura 3.8. Diseño eléctrico del teclado para el nodo controlador	56
Figura 3.9. Esquema eléctrico de la conexión del LCD	56
Figura 3.10. Tarjeta de Radiofrecuencia MRF24J40	57
Figura 3.11. Fuente para la alimentación del módulo de control	57
Figura 3.12. Esquema en bloques del nodo de supervisión	58
Figura 3.13. Módulo para la conversión de RS-485 a USB.....	58
Figura 3.14. Fuente de alimentación para el nodo de supervisión.....	59
Figura 3.15. Diagrama de Funcionamiento del Nodo RFD (Control)	60
Figura 3.16. Diagrama de funcionamiento del nodo coordinador (Supervisión).....	61
Figura 3.17. Arquitectura del Sistema de Supervisión y Control	63
Figura 3.18. Diagrama de comunicación del sistema.....	64
Figura 3.19. Ventana principal del sistema de calentamiento de agua	66
Figura 3.20. Gráficas de tendencia y parámetros para la configuración	67
Figura 3.21. Esquema de las tecnologías de comunicación.....	69
Figura 3.22. Configuración estrella de un solo salto entre los dispositivos	70
Figura 3.23. Ubicación física de los sensores dentro de las habitaciones	70
Figura 3.24. Esquema en bloques de los módulos dentro de las habitaciones	71
Figura 3.25. Micro-controlador PIC 24FJ32GA002 y su distribución de pines	72
Figura 3.26. Circuito de la fuente de alimentación	73
Figura 3.27. Comunicación entre el dispositivo maestro y los dispositivos esclavos	73

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 3.28. Red de comunicación con tipología estrella basada en el bus RS-485.....	74
Figura 3.29. Diagrama de funcionamiento del nodo coordinador	75
Figura 3.30. Rutina para la interrupción	76
Figura 3.31. Diagrama de Funcionamiento del Nodo Controlador o RFD	77
Figura 3.32. Arquitectura del Sistema de Supervisión	79
Figura 3.33. Ventana principal - cuatro bloques habitacionales	81
Figura 3.34. Ventana del primer bloque habitacional	82
Figura 3.35. Ventana del estado de los sensores dentro de una habitación.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Sistemas que influyen en la magnitud del consumo energético	42
Tabla 3.1. Trama de datos para la Capa de Aplicación	62
Tabla 3.2. Ejemplo de trama de datos para solicitar la medición del sensor 1	62
Tabla 3.3. Ejemplo de trama de datos respuesta del sensor 1.....	62
Tabla 3.4. Variables configuradas en el EROS – Hotel Las Américas.....	65
Tabla 3.5. Parámetros en la comunicación mutua entre los dispositivos.....	78
Tabla 3.6. Variables configuradas en el EROS – Hotel Brisas Santa Lucía	80

Introducción

La automatización ocupa un lugar importante en la vida actual, se encuentra presente en casi todas las áreas de la vida moderna, alcanzando un desarrollo vertiginoso y fortaleciendo de manera significativa las esferas industriales y empresariales. Los adelantos en el control automático constituyen un logro de la ciencia y la técnica que contribuyen al perfeccionamiento y eficiencia de los sectores en los cuales se emplean.

No se concibe el desarrollo de la automatización sin los avances de las tecnologías de comunicación, pues cada vez son mayores las exigencias en las comunicaciones de los equipos utilizados tanto en el ámbito industrial como doméstico. Por este motivo se ha desplegado un proceso de transformación y desarrollo de las técnicas y concepciones en cuanto a la implementación de los elementos electrónicos a emplear en los sistemas y el método de interacción entre ellos.

En los últimos años se ha incrementado la utilización de redes inalámbricas. Esto se debe a varias razones, como son el estilo de vida actual, la necesidad de mantener conectividad a redes locales o a Internet de forma constante, el soporte a la movilidad, mayor flexibilidad, entre otras.

La aparición de las redes inalámbricas ofrece muchas ventajas además de las referidas anteriormente. Entre ellas está la compatibilidad con las redes cableadas ya existentes, la facilidad de instalación, la reducción en los costos, la sencillez de administración, la capacidad de atravesar barreras físicas, por mencionar algunas.

Para hablar de la historia de las redes inalámbricas nos remontaremos a 1880, en ese año, Graham Bell y SummerTainter inventaron el primer aparato de comunicación sin cables, el fonógrafo, que permitía la transmisión del sonido por medio de una emisión de luz, pero no tuvo mucho éxito debido a que por aquel entonces todavía no se distribuía la electricidad y las primeras bombillas se habían inventado un año antes. En 1888 el físico alemán Rudolf Hertz realizó la primera transmisión sin cables con ondas electromagnéticas mediante un oscilador que usó como emisor y un resonador que hacía el papel de receptor. Seis años después, las ondas de radio ya eran un medio de comunicación. En 1899 Guillermo Marconi consiguió establecer comunicaciones inalámbricas a través del canal de la Mancha, entre Dover y Wilmereux y, en 1907, se transmitían los primeros mensajes completos a través del Atlántico. No fue hasta 1971 cuando un grupo de investigadores bajo la dirección de Norman Abramson, de la

INTRODUCCIÓN

Universidad de Hawai, crearon el primer sistema de conmutación de paquetes mediante una red de comunicación por radio; dicha red se llamó ALOHA. Ésta fue la primera red de área local inalámbrica (WLAN), y estaba formada por 7 computadoras situadas en distintas islas que se podían comunicar con un ordenador central al cual pedían que realizara cálculos. Un año después ALOHA se conectó mediante ARPANET al continente americano. ARPANET es una red de computadoras creada por el Departamento de Defensa de los EE.UU como medio de comunicación para los diferentes organismos del país.

En general, la tecnología inalámbrica utiliza ondas de radiofrecuencia de baja potencia y una banda específica (espectro) de uso libre o privada para lograr la comunicación entre dispositivos.

Para que las redes inalámbricas se pudieran expandir sin problemas de compatibilidad había que establecer unos estándares, por ello IEEE creó un grupo de trabajo específico para esta tarea llamado 802.11, así pues, se definiría con este estándar el uso del nivel físico y de enlace de datos de la red especificando sus normas de funcionamiento. De este modo lo único que diferencia una red inalámbrica de una que no lo es, lo constituye la forma en que se transmiten los paquetes de datos, el resto es idéntico. Como consecuencia, el software que va a funcionar con la red, no debe tener en cuenta el tipo de red, ya que ambos tipos de redes son totalmente compatibles. La norma IEEE 802.11 define dos modos básicos de operación: ad-hoc e infraestructura. El primero se basa en que los terminales se comunican libremente entre sí, el cual se suele encontrar en entornos militares, operaciones de emergencia, redes de sensores, comunicación entre vehículos, entre otros. En el segundo, y mayoritario, los equipos están conectados con uno o más puntos de acceso, normalmente en conexión con una red cableada, que se encargan del control de acceso al medio. Se puede ver este modo de operación en hogares, empresas e instituciones.

Por otro lado, las exigencias que actualmente se imponen a los procesos productivos en cuestión de rendimiento, calidad y flexibilidad hacen necesario introducir los sistemas de supervisión y control. La incorporación de estos sistemas en las empresas e industrias permite la reducción del número de paradas innecesarias, la predicción de situaciones anómalas, el ahorro energético, entre otras ventajas. Los sistemas de supervisión y control tienen como objetivo permitir el manejo del proceso, conocer en tiempo real las incidencias y los parámetros más importantes (por ejemplo: disponibilidades, tiempo de ciclos, producciones), gestionar los datos para realizar análisis de históricos, entre otros. La supervisión es el hecho de controlar a distancia los procesos industriales, puede ser de forma remota o computarizada, donde un usuario o

una máquina controlan los diferentes procesos que se dan en una fábrica u otra institución.

Nuestro país no ha estado ajeno a los recientes avances tecnológicos y realiza arduos trabajos para lograr el desarrollo e implementación de nuevos sistemas de supervisión y control, y además lograr mejoras en los sistemas de comunicación inalámbrica en diferentes entidades, como son: centros turísticos, industrias, centros de enseñanza superior, y otras, con el objetivo de aumentar la eficiencia, disminuir los portadores energéticos, incrementar el confort, la seguridad y otros beneficios más.

En nuestro país existen instalaciones hoteleras que presentan diferentes problemas en algunos de sus sistemas de servicios, entre ellas el Hotel Las Américas, en la provincia de Santiago de Cuba y el Hotel Brisas Santa Lucía, en Camagüey. En el caso del Hotel Las Américas surge la necesidad de monitorear y controlar eficientemente los sistemas solares de calentamiento del agua; mientras que en el Hotel Brisas Santa Lucía se hace necesario un sistema de supervisión dentro de las habitaciones que aumente la seguridad en las mismas.

A partir de lo antes señalado, y en aras de brindar una posible solución a las problemáticas planteadas, se evidencia la necesidad de desarrollar una investigación, la cual considera como **problema**, la carencia de Sistemas de Supervisión y Control utilizando protocolos de comunicaciones inalámbricas que permitan aumentar la eficiencia, la seguridad y el confort, así como contribuir al ahorro de los portadores energéticos en los hoteles antes mencionados.

En base a lo anteriormente planteado se considera como **objeto de la investigación** los sistemas de supervisión y control de variables, precisándose como **campo de acción** los micro-controladores PIC y las redes inalámbricas de comunicación en sistemas de supervisión y control.

El **objetivo de la investigación** consiste en diseñar e implementar sistemas de supervisión y control utilizando diferentes protocolos de comunicación inalámbrica en dos instalaciones hoteleras de nuestro país.

Como **hipótesis** se plantea que si se diseñan, desarrollan e implementan sistemas de supervisión y control utilizando micro-controladores PIC y tecnología inalámbrica de comunicación, aumentarán la eficiencia, el ahorro de energía eléctrica, la seguridad y el confort en los hoteles estudiados.

Las **tareas** para dar cumplimiento al objetivo de la presente investigación se relacionan a continuación:

- Caracterizar, desde el punto de vista gnoseológico, histórico y actual, los sistemas de supervisión y control, así como de las principales tecnologías inalámbricas.
- Caracterizar las instalaciones del Hotel Las Américas y del Hotel Brisas Santa Lucía.
- Diseñar e implementar los sistemas de supervisión y control utilizando micro-controladores PIC y protocolos de comunicación inalámbrica en los dos hoteles.

Métodos y Técnicas empleadas en la investigación:

- Análisis de fuentes documentales.
- Técnicas y Métodos Empíricos: Observación, Encuestas y Entrevistas.
- Método Histórico-lógico.
- Método de Análisis y Síntesis.
- Métodos Experimentales: Diseño y Simulación.

Significación práctica.

El presente trabajo constituye una importante contribución al desarrollo de la tecnología inalámbrica en nuestro país. El diseño y la implementación de los sistemas de supervisión y control en las diferentes instituciones contribuirán sustancialmente al ahorro de portadores energéticos, a la seguridad y al confort, entre otras ventajas.

El trabajo se encuentra organizado de la siguiente forma: una introducción general en la que se exponen las principales motivaciones que llevaron a la realización de esta investigación y en la que además se encuentra la fundamentación de su diseño metodológico; tres capítulos que constan de introducciones parciales para la mejor comprensión de sus objetivos, los que a su vez, se encuentran organizados por epígrafes, de manera que se facilite su revisión por parte del lector. Se brindan además, las conclusiones de cada capítulo, aparte de las conclusiones generales, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En el capítulo 1 se presenta el estudio teórico del presente trabajo. Para ello se brinda la caracterización conceptual e histórica de los sistemas de supervisión y control, detallando las partes fundamentales, las funciones principales, la arquitectura actual, las prestaciones, los requisitos y los módulos que poseen los Sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos (SCADA). También se estudian los fundamentos

INTRODUCCIÓN

teóricos de las tecnologías inalámbricas de comunicación, así como sus características, ventajas, clasificación y tecnologías más utilizadas.

En el capítulo 2 se realiza un estudio de las instalaciones: Hotel Las Américas y el Hotel Brisas Santa Lucía.

El capítulo 3 muestra el diseño y la implementación de los sistemas de supervisión y control. Además se realiza el diseño del hardware necesario, así como el desarrollo de los softwares utilizados en las tareas de supervisión, control y almacenamiento de los datos y que establecerán la comunicación con los protocolos inalámbricos utilizados en cada caso: ZigBee para el Hotel las Américas, MiWi para el Hotel Brisas Santa Lucía.

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL Y DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

Introducción

En el presente capítulo se realiza una caracterización conceptual e histórica de los sistemas de supervisión y control, donde se detallan las partes fundamentales, las funciones principales, la arquitectura actual, prestaciones, requisitos y módulos que poseen. Además, se estudian los fundamentos teóricos de las tecnologías inalámbricas de comunicación, sus características, ventajas, clasificación y tecnologías más utilizadas.

1.1. Caracterización conceptual e histórica de los sistemas de supervisión y control.

Para el control de procesos industriales, además del control realizado para el funcionamiento deseado de la planta, es fundamental la supervisión del proceso, debido a que se pueden implementar sistemas de alarmas, monitoreo de variables, entre otras funcionalidades. La figura 1.1 muestra la pirámide de automatización industrial, donde el sistema de supervisión se encuentra en el nivel superior, permitiendo la integración de todo el sistema [29].

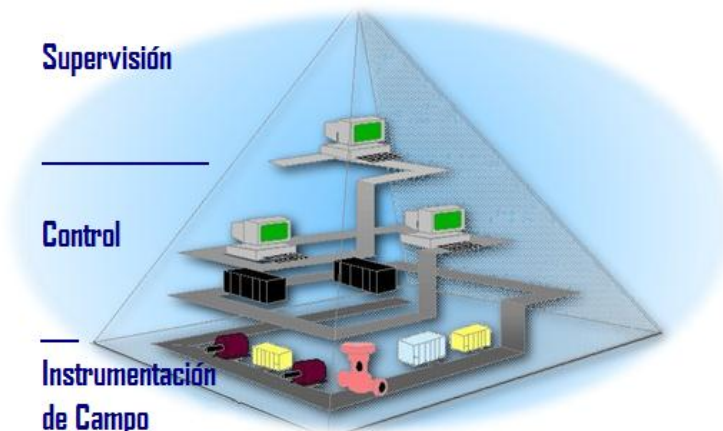


Figura 1.1. Pirámide de automatización industrial.

El término SCADA proviene de las siglas de "Supervisory Control And Data Acquisition", es decir, Control Supervisorio y Adquisición de Datos. Un SCADA consiste en un software de aplicación diseñado especialmente para ejecutarse sobre ordenadores destinados al control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos

de campo (controladores digitales autónomos, autómatas programables, instrumentación inteligente, entre otros) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto desde el propio nivel de campo como desde otros niveles superiores, que pueden llegar hasta nivel de empresa, abarcando aspectos tan importantes como son: control de calidad, supervisión, mantenimiento y otros.

Un sistema SCADA incluye un hardware de señales de entrada y salida, controladores, interfaz hombre-máquina (HMI), redes, comunicaciones, base de datos y software. En este tipo de sistemas usualmente existen ordenadores, que efectúan tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos [21].

Los primeros sistemas automatizados SCADA fueron modificados con programas de aplicación específicos para atender a requisitos de algún proyecto particular. Como los ingenieros de varias industrias diseñaron estos sistemas, la percepción de los SCADA adquirió las características de sus propias industrias, y solamente cuando nuevos proyectos requirieron funciones y aplicaciones adicionales, hizo que los desarrolladores de estos sistemas tuvieran la oportunidad de desarrollar sus experiencias en otras industrias.

Hoy, los proveedores de SCADA están diseñando sistemas que son pensados para resolver las necesidades de muchas industrias con módulos específicos de software para proporcionar las capacidades requeridas comúnmente. No es inusual encontrar softwares SCADA comercialmente disponibles adaptados para el procesamiento de papel y celulosa, industrias de aceite y gas, generación de energía eléctrica, plantas de tratamiento de agua, control de flúidos, por mencionar algunos. La mayoría de los sistemas SCADA que son instalados actualmente se están convirtiendo en una parte integral de la estructura administrativa de la información corporativa. Estos sistemas ya no son vistos por la gerencia simplemente como herramientas operacionales, sino como un recurso importante de información.

Esquemáticamente, un sistema SCADA conectado a un proceso automatizado consta de las siguientes partes, ver figura 1.2:

- 1- Proceso objeto de control: es el proceso que se desea supervisar. Por lo tanto, es el origen de los datos que se requiere coleccionar y distribuir.

- 2- Adquisición de datos: son un conjunto de instrumentos de medición dotados de alguna interface de comunicación que permita su interconexión.
- 3- SCADA: combinación de hardware y software que permita la colección y visualización de los datos proporcionados por los instrumentos.
- 4- Clientes: conjunto de aplicaciones que utilizan los datos obtenidos por el sistema SCADA.

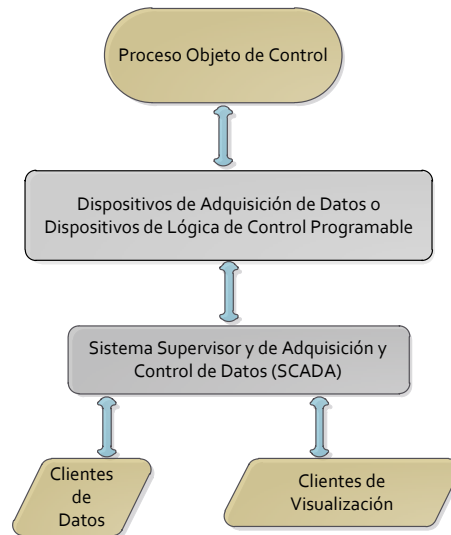


Figura 1.2. Partes de un sistema SCADA.

Funciones principales de los sistemas SCADA.

Supervisión remota de instalaciones y equipos. Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que posibilita dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.

Control remoto de instalaciones y equipos. Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores), de manera automática y también manual. Además, es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, entre otros.

Procesamiento de datos. El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema; esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.

Visualización gráfica dinámica. El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de

estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.

Representación de señales de alarma. A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.

Almacenamiento de información. Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos; esta información puede analizarse posteriormente. El tiempo de almacenamiento dependerá del operador o programador.

Programación de eventos. Está referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas u otras.

La figura 1.3 muestra los elementos que conforman el sistema SCADA según [4]:

- Interfaz Hombre-Máquina (HMI): es el entorno visual que permite la interacción del ser humano con los medios tecnológicos implementados, es decir, del operador con la planta.
- Unidad Terminal Maestra (MTU): también llamada Unidad Central, permite, mediante un software, la adquisición de datos a través de todas las RTUs y brinda la capacidad de ejecutar comandos de control remoto cuando es requerido. En muchos casos la MTU debe enviar información a otros sistemas o computadoras, y para esto cuenta con conexiones que pueden ser directas o en forma de una red LAN.
- Unidad Terminal Remota (RTU): es una unidad de planta formada por un microprocesador e interfaces I/O, tanto analógicas como digitales, que permiten tomar información del proceso y enviarla a la unidad central. Un sistema puede requerir la existencia de varias RTUs y ser capaz de reconocer de donde proviene cada mensaje.
- Sistema de comunicaciones: se encarga de la transferencia de la información del punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación.
- Transductores: son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa). Su calibración es muy importante para que no haya problemas con la conversión de valores de los datos.

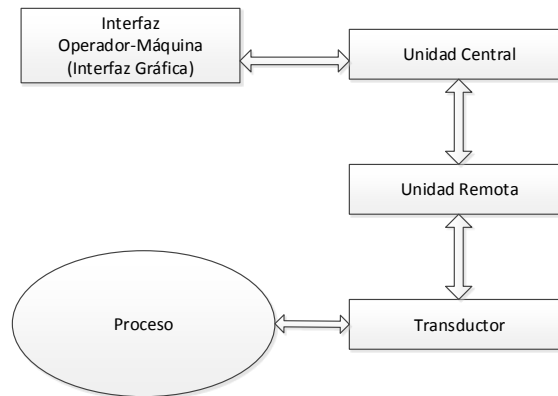


Figura 1.3. Esquema de los elementos de un sistema SCADA.

Interfaz Hombre-Máquina (HMI). Los HMI son denominados también interfaces de usuario, y son aquellas que incluyen elementos como menús, ventanas, teclado, ratón, pantallas táctiles, entre otros. En general, son todos los canales que permiten la comunicación entre el ser humano y la computadora. La mejor interacción humano-máquina a través de una adecuada interfaz (Interfaz de Usuario), que le brinde tanto comodidad como eficiencia [6].

Unidad Terminal Maestra (MTU). La Unidad Terminal Maestra o Unidad Central (MTU) ejecuta las acciones de mando programadas en base a los valores actuales de las variables medidas. Normalmente la MTU cuenta con equipos auxiliares, como impresoras y memorias de almacenamiento. La figura 1.4 muestra el esquema de conexión de las MTU y las RTU [6].

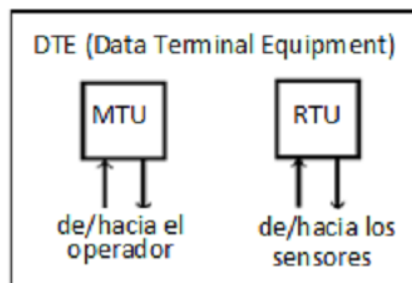


Figura 1.4. Esquema del conexionado para las MTU y las RTU.

Unidad Terminal Remota (RTU). Una RTU es un equipo instalado en una localidad remota que recopila datos y luego los codifica en un formato que le permita transmitirlos hacia una estación central MTU, u otra RTU. La unidad también recibe información desde la estación central, decodifica los datos enviados y posibilita la ejecución de órdenes enviada desde la misma. Una RTU está equipada de canales de entrada para

la detección o medición de las variables de un proceso, de canales de salida para el control o la activación de actuadores o alarmas, y de un puerto de comunicación [6] (ver figura 1.5).



Figura 1.5. RTU compacta típica.

Sistema de comunicaciones. Gestionan la información que los instrumentos de campo envían a la red de ordenadores. El tipo de bus utilizado en las comunicaciones puede ser muy variado, según las necesidades del sistema y del software escogido para implementar el SCADA, por ejemplo, los buses de campo constituyen el sistema de comunicaciones de dispositivos más próximos al proceso, y permiten la interconexión de todo tipo de dispositivos de campo (sensores, actuadores, reguladores, autómatas, entre otros) [15].

Transductores. También llamados detectores primarios o sensores, se utilizan para convertir las variables físicas presentes en el proceso, en una señal eléctrica de tal manera que la medición, materializada en una señal eléctrica, sea una representación exacta de la variable misma [20].

Prestaciones y requisitos de un SCADA [24].

Prestaciones:

Un paquete SCADA debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser almacenados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómata bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

Requisitos:

Un SCADA debe cumplir varios objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada:

- Ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades de la empresa.
- Capaces de comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

Aplicaciones de los sistemas SCADAs. Dentro de los SCADAs más conocidos patentados por diferentes empresas se encuentran WinCC de Siemens, Vijeo Citect de Schneider, CX-One Supervisor de Omron, entre otros. En nuestro país se desarrollan algunos SCADAs nacionales, de los cuáles el más completo y divulgado en el ámbito industrial es el Sistema de Supervisión y Control de Procesos “EROS”, destacándose por la facilidad con que puede ser operado y configurado, ofreciendo funcionalidades predeterminadas (estadísticas, alarmas, recetas, datos históricos), lo que disminuye los costos de puesta en marcha, y con una experiencia acumulada durante más de 10 años por el uso en más de 180 instalaciones en diferentes procesos en todo del país y en el extranjero [12].

En la actualidad algunas de las aplicaciones de los sistemas de supervisión y control son en Sistemas de Manufactura Flexible (FMS), donde la estructura estática es modelada usando diagramas de clase del Lenguaje Modelador Unificado (UML) y la estructura dinámica es modelada por medio de la red de Petri (PN) [30].

También en el centro conmutativo móvil (MSC) de Corporación Celular Taiwán, se ha desarrollado y utilizado exitosamente un sistema para la supervisión y control remoto a través de la Internet, con 316 sensores y 140 accionadores [15].

Nuestro país en los últimos años ha realizado inversiones con alta tecnología de automatización incorporada. Dentro de ello, en específico, los sistemas supervisorios tienen un papel importante en el logro de la eficiencia buscada. En el turismo, prácticamente todas las nuevas inversiones poseen sistemas de supervisión y control, y en las instalaciones con más tiempo de explotación se llevan a cabo estudios para ser implementados dichos sistemas. Se crean edificios inteligentes donde se trabaja en automatizar la climatización, iluminación, uso de elevadores, y otros, según el nivel de ocupación del hotel con vistas al ahorro energético. En el MINBAS se acomete un plan de modernización de las termoeléctricas, en el que juegan un papel preponderante los sistemas de automatización. Las plantas de tratamiento de gas y de generación de

electricidad poseen un alto grado de automatización con sistemas de supervisión y control implementados. Además se han instalado estos sistemas en la industria del níquel, en fábricas de cementos y en centrales azucareros [30] [36].

1.1.1. Sistema de Supervisión y Control de Procesos Eros.

La empresa SERCONI de Nicaro, Holguín, desarrolló hace más de 15 años el Sistema de Supervisión y Control de Procesos EROS; fue el primero creado en nuestro país, posteriormente se continuaron desarrollando los SCADAs, entre los que se puede citar el UX creado por la UCI, originalmente conocido como Guardián del Alba (GUALBA). En la figura 1.6 se muestra la ventana principal del sistema EROS.

Aunque en un principio el EROS se creó para la industria del níquel, debido a su fácil configuración, más de 400 instalaciones cubanas utilizan el EROS para realizar la supervisión de sus procesos correspondientes, anexo 1. EROS facilita el mando a distancia y el control desde la aplicación, que constituyen herramientas que potencian el automatismo del proceso tecnológico, cumple con la plataforma multiusuario; es un sistema distribuido en el que sus diferentes componentes se interconectan a través de la Intranet Empresarial, siendo los componentes:

- ✓ Estaciones de medición.
- ✓ Estaciones de visualización.
- ✓ Servidores de reportes y servidores de tiempo.



Figura 1.6. Ventana de inicio del sistema SCADA EROS 5.10.

EROS permite configurar de manera sencilla un gran número de variables. La configuración del sistema es en caliente, por lo que no necesita detener el proceso de supervisión para efectuar cambios en la configuración. Utiliza toda la potencia en

edición de tablas y gráficos que posee el Microsoft Excel y lo combina con la posibilidad de insertar en celdas seleccionadas los valores que se necesiten de las variables del EROS. La capa de red permite integrar a los sistemas que están operando en diferentes máquinas, haciendo visibles para cualquier sistema las variables situadas en ordenadores remotos [12].

Características del EROS:

- ✓ Está soportado en ambiente Windows NT/2000/XP/Vista/W7, lo cual permite utilizar todas las posibilidades de esta plataforma.
- ✓ Puede trabajar minimizado, lo que posibilita sostener el sistema aun cuando temporalmente se necesite hacer uso de otros programas.
- ✓ El fichero histórico de variables contiene la información de un día completo, lo que facilita el análisis de la operación de manera integral, además permite navegar de un día hacia otro con facilidad, pues tanto el registro actual como el histórico se encuentran en la misma opción.
- ✓ Cuenta con la opción “Recetas” que consiste en las recomendaciones que determinados especialistas pueden hacer partiendo de las situaciones que se presenten en el proceso, determinado por las variables del mismo.
- ✓ Correo interno del sistema para enviar mensajes y/o textos informativos a los usuarios de la red que estén trabajando dentro del EROS.
- ✓ Posibilidad de comunicarse con cualquier dispositivo de medición mediante manejadores (drivers) de comunicación u OPC (OLE for Process Control) cliente, además posee manejadores que permiten la comunicación con sistemas de radio y tecnología celular.
- ✓ Gran ventaja para el análisis, ya que permite el almacenamiento del histórico del proceso (configurable), sólo limitado por la capacidad del disco duro de su computadora.
- ✓ Se vincula con un Sistema de Reportes que capta los datos de las estaciones de medición y controla la emisión de reportes periódicos o progresivos. Este sistema permite configurar y emitir reportes periódicos de las variables del EROS. En los reportes pueden aparecer tanto, valores puntuales como cálculos estadísticos en un determinado período, tales como valores medios en el intervalo de una hora, turno o día, desviación típica, valores máximos y otros.
- ✓ El sistema usa un protocolo de Red múltiple que incluye TCP/IP, canalizaciones con nombre, entre otros, lo que facilita la conectividad en diferentes redes y entornos.
- ✓ El sistema se comunica con los autómatas a través de manejadores, lo que aporta mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a nuevos entornos.

Actualmente se comunica con autómatas Siemens, Modicon, Nova, Saia, Nodorem, Omron, reguladores autónomos CD600, dispositivo de pesaje EROS, entre otros [12].

1.1.2. Servidor para la gestión de la comunicación (OPC).

En muchas ocasiones los dispositivos que forman el sistema de control no son del mismo fabricante, por lo que para lograr una comunicación entre ellos, a veces, es necesario usar drivers, los cuales generalmente son costosos. Esto se puede solucionar con un servidor para el control de proceso basado en tecnología de Microsoft OPC para el Control de Procesos.

Un servidor OPC es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales. Este ofrece una interface común para comunicación permitiendo que componentes software individuales interactúen y compartan datos. La comunicación se realiza a través de una arquitectura cliente-servidor, figura 1.7. Es una solución abierta y flexible al clásico problema de los drivers propietarios. Prácticamente los mayores fabricantes de sistemas de control, instrumentación y de procesos han incluido OPC en sus productos [36].

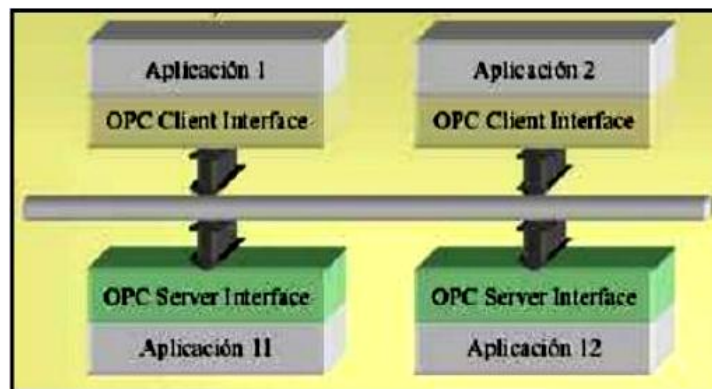


Figura 1.7. Interfaz OPC Cliente-servidor.

El servidor OPC hace de interfaz, comunicando por un lado con una o más fuentes de datos que utilizan sus protocolos nativos (típicamente PLC, básculas, módulos I/O, controladores), y por otro lado con clientes OPC (típicamente SCADA, HMI, generadores de informes, generadores de gráficos, aplicaciones de cálculos, entre otros) [1]. Las comunicaciones entre el cliente y el servidor son bidireccionales, lo que significa que los clientes pueden leer y escribir en los dispositivos a través del servidor OPC.

Tipos de servidores OPC. Existen cuatro tipos de servidores OPC definidos por la “OPC Foundation”, según [5]; éstos son:

- Servidor OPC DA: Basado en la especificación de Acceso de Datos, especialmente diseñado para la transmisión de datos en tiempo real.
- Servidor OPC HDA: Basado en la especificación de Acceso a Datos almacenados, que provee al Cliente OPC HDA de datos históricos.
- Servidor OPC A&E Server: Basado en la especificación de alarmas y eventos, transfiere alarmas y eventos desde el dispositivo hacia el Cliente OPC A&E.
- Servidor OPC UA: Basado en la especificación de Arquitectura Unificada y en el set más nuevo y avanzado de la OPC Foundation, permite a los servidores OPC trabajar con cualquier tipo de datos.

En conjunto, los tres primeros tipos de servidores OPC se conocen como servidores “OPC clásicos” para distinguirlos de OPC UA que se convertirá en la base de las futuras arquitecturas OPC.

Dentro de las principales ventajas de un servidor OPC se debe notar que los fabricantes de hardware sólo tienen que hacer un conjunto de componentes de programa para que los clientes los utilicen en sus aplicaciones, y que los fabricantes de software no tienen que adaptar los drivers ante cambios de hardware. En aplicaciones industriales donde el conjunto de dispositivos involucrados es generalmente heterogéneo, los servidores OPC desempeñan un papel importante en el intercambio y control de los datos de todos estos elementos.

1.2. Fundamentación teórica de las tecnologías inalámbricas.

La implementación de las redes inalámbricas es cada vez menos costosa y más sencilla de configurar, ya que en la actualidad es posible diseñar e instalar una red en cualquier sitio remoto. Podemos destacar las redes que pertenecen al protocolo IEEE 802.15, las cuales son redes de área personal o WPAN (Wireless Personal Area Network).

La comunicación inalámbrica o sin cables es aquella en la que la comunicación (emisor/receptor) no se encuentra unida por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. En este sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la

señal, entre los cuales encontramos: antenas, computadoras portátiles, PDA (Asistente Digital Personal), teléfonos móviles, entre otros.

Las redes inalámbricas son aquellas que se comunican por un medio de transmisión no guiado (sin cables) mediante ondas electromagnéticas. La transmisión y la recepción se realizan a través de antenas, figura 1.8.



Figura 1.8. Redes de comunicación inalámbrica.

Actualmente, las transmisiones inalámbricas constituyen una eficaz herramienta que permite la transferencia de voz, datos y vídeo sin la necesidad de cableado. Esta transferencia de información es lograda a través de la emisión de ondas de radio, teniendo dos ventajas: movilidad y flexibilidad del sistema en general.

El rápido desarrollo de las redes inalámbricas se debe a las ventajas que suponen:

- El usuario puede mantenerse conectado mientras se desplaza dentro de una determinada área geográfica, por lo que el concepto de movilidad es básico con este tipo de redes.
- Las redes inalámbricas permiten conectar dispositivos remotos fácilmente a distancias tan variables como desde unos pocos metros hasta varios kilómetros.
- La implantación de una red en un municipio no supone una gran actuación en la infraestructura existente, como ocurre con el cableado.
- Despliegue de servicios de VoIP (Voz sobre Protocolo de Internet) en el ámbito urbano, permitiendo eliminar las "obsoletas" líneas tradicionales de telefonía analógica.

1.2.1. Clasificación de las redes inalámbricas.

Existen varios tipos de redes, dentro de estas las que se dedican a cuestiones informáticas e industriales; las mismas se clasifican de acuerdo a su alcance, a sus métodos de conexión, por su relación funcional y por su topología [7].

- Clasificación de acuerdo a su alcance, (ver figura 1.9).

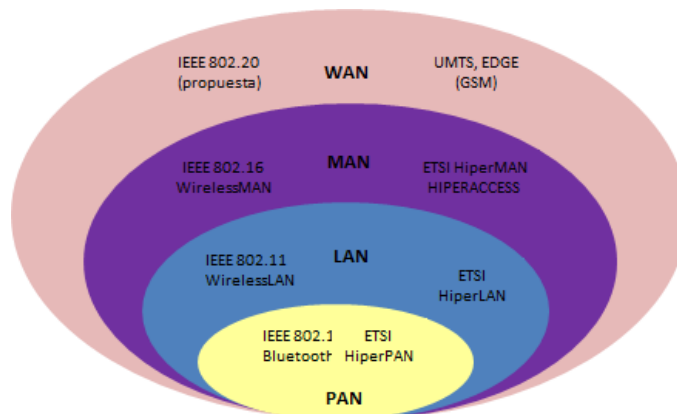


Figura 1.9. Cobertura y estándares de las redes inalámbricas.

- **Red de área personal (PAN).** Son redes pequeñas conformadas por no más de 8 equipos. Es una red de computadoras para la comunicación entre distintos dispositivos (tanto computadoras, puntos de acceso a Internet, teléfonos celulares, PDA, dispositivos de audio, impresoras) cercanos al punto de acceso. Estas redes normalmente son de unos pocos metros y para uso personal.
- **Red de área local (LAN).** Son redes muy rápidas en las cuales cada estación se puede comunicar con el resto. Su extensión está limitada físicamente a un edificio o a un entorno de hasta 100 metros, lo cual significa que el tiempo de transmisión en ocasiones es conocido y se incrementan la eficiencia y productividad de los trabajos al poder compartir recursos.
- **Red de área de campus (CAN):** Se deriva a una red que conecta dos o más LANs, los cuales deben estar conectados en un área geográfica específica, tal como un campus de universidad, un complejo industrial o una base militar. Son grupos de redes dispersas geográficamente dentro de un área determinada.
- **Red de área metropolitana (MAN):** Es una red de alta velocidad que, dando cobertura en un área geográfica extensa, proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y vídeo, sobre medios de transmisión, tales como fibra óptica y par trenzado; la tecnología de pares de cobre se posiciona como una excelente alternativa para la creación de

redes metropolitanas por su baja latencia (entre 1 y 50 ms), gran estabilidad y la carencia de interferencias radioeléctricas. Las redes MAN BUCLE ofrecen velocidades que van desde los 2 Mbps y los 155 Mbps.

- *Red de área amplia (WAN)*: una red de área amplia, como muestra la figura 1.10, es un tipo de red de computadoras capaz de cubrir distancias desde unos 100 hasta unos 1000 km, dando el servicio a un país o un continente. Un ejemplo de este tipo de redes sería Red IRIS, Internet o cualquier red en la cual no estén en un mismo edificio todos sus miembros (sobre la distancia hay discusión posible). Muchas WAN son construidas por y para una organización o empresa particular y son de uso privado, otras son construidas por los proveedores de Internet (ISP) para suministrar conexión a sus clientes.

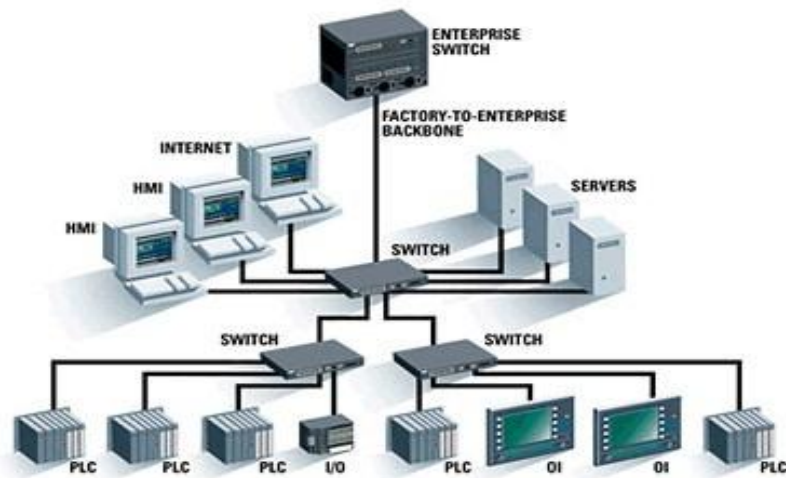


Figura 1.10. Ejemplo de Red de Área Amplia (Wide Área Network o WAN).

➤ Clasificación de acuerdo a sus métodos de conexión [16]:

✓ Medios guiados:

- *Cable coaxial*. Es un cable eléctrico formado por dos conductores concéntricos, uno central o núcleo, formado por un hilo sólido o trenzado de cobre (llamado positivo o vivo), y uno exterior en forma de tubo o vaina, y formado por una malla trenzada de cobre o aluminio, ver figura 1.11.

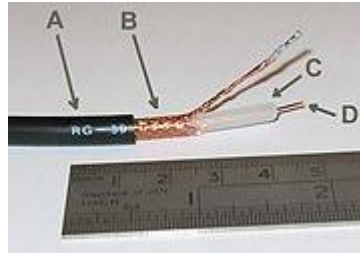


Figura 1.11. Cable coaxial RG-59.

- *Cable de par trenzado.* Es una forma de conexión en la que dos conductores son entrelazados para cancelar las interferencias electromagnéticas de fuentes externas y la diafonía de los cables adyacentes. El entrelazado de los cables disminuye la interferencia debido a que el área de bucle entre los cables, el cual determina el acoplamiento magnético en la señal, es reducido. En la figura 1.12 se muestra el esquema de este tipo de cable.

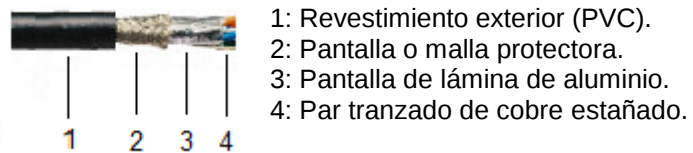


Figura 1.12. Cable de par trenzado de dos hilos RS-485.

- *Fibra óptica.* Es un conductor de ondas en forma de filamento, generalmente de vidrio, aunque también puede ser de materiales plásticos. La figura 1.13 muestra una sección de un cable de fibra óptica. Estos conductores son ampliamente utilizadas en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a alta velocidad. Tienen, además, gran utilización en redes locales y son, por excelencia, un medio de transmisión inmune a las interferencias.



Figura 1.13. Sección de un cable de fibra óptica.

✓ Medios no guiados:

- *Radio*. La comunicación por radio es aquella que emplea la radiofrecuencia como medio de unión de las diversas estaciones de la red. Es un tipo de red muy actual, usada en distintas empresas dedicadas al soporte de redes en situaciones difíciles para el establecimiento de cableado, como es el caso de edificios antiguos no pensados para la ubicación de los diversos equipos componentes de una red de ordenadores.
- *Infrarrojos*: Las redes por infrarrojos permiten la comunicación entre dos nodos, usando una serie de leds infrarrojos para ello. Se trata de emisores/receptores de las ondas infrarrojas entre ambos dispositivos, cada dispositivo necesita “ver” al otro para realizar la comunicación, por ello es escasa su utilización a gran escala.
- *Microondas*: es un tipo de red inalámbrica que utiliza microondas como medio de transmisión. El protocolo más frecuente es el IEEE 802.11b y transmite a 2.4 GHz, alcanzando velocidades de 11 Mbps. Otras redes utilizan el rango de 5.4 a 5.7 GHz para el protocolo IEEE 802.11a.
- *Láser*: es un aparato o dispositivo que produce un tipo muy especial de luz.

➤ Clasificación de acuerdo a su relación funcional:

- *Cliente-servidor*. Esta arquitectura consiste en que un programa, el cliente, realiza peticiones a otro programa, el servidor, que le da respuesta.
- *Igual-a-Igual (p2p)*. Es una red informática entre iguales (en inglés, peer-to-peer: par a par- o de punto a punto) se refiere a una red que no tiene clientes ni servidores fijos, sino una serie de nodos que se comportan simultáneamente como clientes y como servidores respecto de los demás nodos de la red.

➤ Clasificación de acuerdo a su topología:

La topología de red se define como la cadena de comunicación usada por los nodos que conforman una red. Esta topología la determina únicamente la configuración de las conexiones entre nodos y no las distancias entre ellos, las interconexiones físicas, las tasas de transmisión y los tipos de señales. Entre las distintas topologías que existen las más generalizadas son las de red en árbol, en anillo, en estrella y en bus, siendo esta última una de las más utilizadas actualmente en aplicaciones domésticas e industriales. Estas clasificaciones se muestran en la figura 1.14.

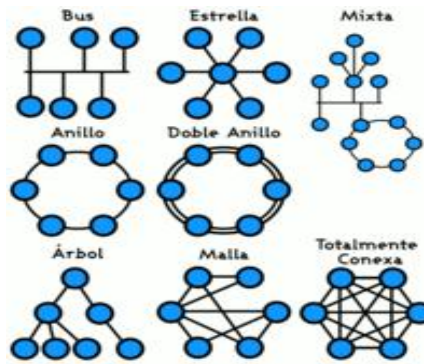


Figura 1.14. Esquemas de las distintas topologías.

- *Red de bus.* Una red en bus es una topología en la que todas las estaciones están conectadas a un único canal de comunicaciones por medio de unidades interfaz y derivadores. Las estaciones utilizan este canal para comunicarse con el resto.
- *Red de estrella.* Es una red en la cual las estaciones están conectadas directamente a un punto central y todas las comunicaciones se hacen necesariamente a través de éste. Se utiliza sobre todo para redes locales, pues las mayorías de estas redes tienen un enrutador (Router), un conmutador (switch) o un concentrador (hub).
- *Red de anillo (o doble anillo).* Topología de red en la que las estaciones se conectan formando un anillo. Cada estación está conectada a la siguiente y la última está conectada a la primera. Cada estación tiene un receptor y un transmisor que hace la función de repetidor, pasando la señal a la siguiente estación. En un anillo doble, dos anillos permiten que los datos se envíen en ambas direcciones. Esta configuración crea redundancia (tolerancia a fallos), lo que significa que si uno de los anillos falla, los datos pueden transmitirse por el otro.
- *Red en malla.* Es aquella en la que cada nodo está conectado a uno o más nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos. Si la red de malla está completamente conectada, no puede existir absolutamente ninguna interrupción en las comunicaciones.
- *Red en árbol.* Los nodos que forman la red están colocados en forma de árbol. Desde una visión topológica, la conexión en árbol es parecida a una serie de redes en estrella interconectadas salvo en que no tiene un nodo central. En cambio, tiene un nodo de enlace troncal, generalmente ocupado por un hub o switch, desde el que se ramifican los demás nodos. Es una variación de la red en bus y la falla de un nodo no implica interrupción en las comunicaciones.

- *Red Mixta.* Es cualquier combinación de topologías explicadas anteriormente y se clasifican de acuerdo a la direccionalidad de los datos (tipos de transmisión) en:
 - Simplex (unidireccionales): un equipo terminal de datos transmite y otro recibe.
 - Half-Duplex (bidireccionales): también se denomina Semi-Duplex, son transmisiones bidireccionales pero, sólo un equipo transmite a la vez y otro recibe.
 - Full-Duplex (bidireccionales): ambos pueden transmitir y recibir a la vez una misma información.

1.2.2. Tecnología de las redes inalámbricas.

Existen múltiples y variadas tecnologías en el mercado para lograr que las comunicaciones inalámbricas transmitan y reciban información usando ondas electromagnéticas a través del espacio. La información es transportada por una banda bien definida denominada canal de comunicación, cada canal tiene un determinado ancho de banda y es posible utilizar varios canales para transmitir información al mismo tiempo.

A veces para lograr las comunicaciones se emplean los llamados “protocolos” que son reglas de comunicación que permiten el flujo de información entre equipos que manejan lenguajes distintos. Un protocolo puede ser definido como los códigos que dominan la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación. Dichos protocolos pueden ser implementados por hardware, software, o una combinación de ambos. Por ejemplo, los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local (LAN) y redes de área metropolitana (MAN).

Por otro lado, los estándares definen los protocolos a utilizar especificando sus normas de funcionamiento. Por ejemplo, el estándar IEEE 802.15.4 define tres bandas de frecuencia: 2.4 GHz, 915 MHz y 868 MHz. Cada frecuencia tiene un número fijo de canales. Se definen hasta 16 canales en el rango de 2.4 GHz, cada uno de ellos con un ancho de banda de 5 MHz.

Las tecnologías que han ganado mayor aceptación y por lo tanto son las más difundidas en la actualidad son [18]:

Infrarrojos: La radiación infrarroja o radiación térmica es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las

microondas, teniendo, por consiguiente, menor frecuencia que la luz visible. Aunque sus usos son variados, los rayos infrarrojos permiten la comunicación entre dos nodos mediante una serie de “leds”, que son emisores/receptores de las ondas infrarrojas entre ambos dispositivos. Se utiliza generalmente para realizar intercambio de datos entre dispositivos móviles o teléfonos al ser pequeño el rango de velocidad y tamaño de los datos a enviar/recibir.

Wi-Fi: es un conjunto de estándares para redes inalámbricas. Es frecuente que actualmente también se utilice para acceder a Internet. En la figura 1.15 se muestra un dispositivo que sirve como punto de acceso a Internet utilizando la tecnología Wi-Fi.



Figura 1.15. Dispositivo como punto de acceso a Wi-Fi.

El protocolo IEEE 802.11 o Wi-Fi es un estándar de comunicaciones del IEEE que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (capas físicas y de enlace de datos), figura 1.16, especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. Desde su creación en 1997 se han definido especificaciones del estándar que van desde 802.11a hasta el 802.11n, pero el estándar 802.11b es el que se utiliza en la actualidad, puesto que ofrece un rendimiento total máximo de 11 Mbps, tiene un alcance de hasta 300 metros en un espacio abierto y utiliza el rango de frecuencia de 2.4 GHz con tres canales de radio disponibles.



Figura 1.16. Arquitectura del modelo OSI.

Uno de los problemas más graves a los cuales se enfrenta la tecnología Wi-Fi es la seguridad, ya que en muchas ocasiones este tipo de redes son instaladas por administradores de sistemas sin tener en consideración la seguridad y las convierten, por tanto, en redes abiertas que no protegen la información que por ellas circulan. El alto consumo energético es también una desventaja de esta tecnología, limitando la movilidad, autonomía y flexibilidad de los dispositivos conectados a la red.

Bluetooth: Es una tecnología de red de corto alcance, que se utiliza para conectar dispositivos entre sí, sin conexión por cable. A diferencia de las tecnologías que utilizan conexión de rayos infrarrojos, los dispositivos Bluetooth no necesitan una línea de visualización directa para la comunicación, lo que flexibiliza su uso y permite el intercambio de datos en espacios pequeños.

El objetivo de Bluetooth es transmitir voz o datos entre equipos con circuitos de radio de bajo costo, a través de un rango aproximado de entre 10 y 100 metros. Pero cuando la distancia requerida es próxima a los 100 metros, el consumo energético aumenta considerablemente.

La tecnología Bluetooth se diseñó principalmente para conectar dispositivos: impresoras, teléfonos móviles, artículos para el hogar, auriculares inalámbricos, mouses, teclados, entre otros, sin utilizar una conexión por cable. Esta tecnología transmite a velocidades de aproximadamente 10 Mbps y utiliza ondas de radio en la banda de frecuencia de 2.4 GHz para la comunicación.

ZigBee: Este protocolo está basado en el estándar IEEE 802.15.4, y fue concebido específicamente para su implementación en redes inalámbricas de sensores. Opera en tres frecuencias: 2.4 GHz, 915 MHz y 868 MHz, soportando una velocidad máxima de transmisión de 250 Kb/s. Entre las características de ZigBee cabe destacar su bajo consumo, la variedad y complejidad de topologías de redes que pueden ser implementadas así como su fácil integración, ya que pueden diseñarse nodos con pocos elementos electrónicos [40].

ZigBee fue desarrollado por la ZigBee Alliance, formada por cientos de compañías que querían solventar la necesidad de un estándar para comunicaciones a baja velocidad. Importantes empresas como Invensys, Mitsubishi, Honeywell, Philips y Motorola se unieron para crear este sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional.

El estándar ZigBee aporta una capa de red NWK (Network Layer), figura 1.17, que gestiona las tareas de “enrutado” y de mantenimiento de los nodos de la red, así como un entorno de aplicación que proporciona una subcapa de aplicación APS (Application Support Sub-Layer) que establece una interfaz para la capa de red y los objetos de los dispositivos [40].



Figura 1.17. Arquitectura en capas del estándar ZigBee/IEEE 802.15.4.

Tipos de dispositivos ZigBee [19]:

Coordinador: Uno por red, es el encargado de formar la red y establecer su dirección, así como de mantener una tabla con los distintos dispositivos conectados y de las uniones entre sus puntos finales. Tiene que ser implementado utilizando obligatoriamente un dispositivo de función completa.

Router: Su utilización es opcional, extiende el rango físico de la red permitiendo la conexión de más nodos y proporciona funciones de monitorización y control. Se

implementa utilizando un dispositivo de función completa.

Dispositivo final: Puede ser desarrollado utilizando un dispositivo de funcionalidad completa o uno de funcionalidad reducida, suele actuar como sensor/actuador de la red. Un protocolo ZigBee de comunicación inalámbrica puede adoptar varios tipos de configuraciones, pero en todas ellas deben aparecer por lo menos un nodo con funcionalidad completa que haga de coordinador de la red y otro que actúe como dispositivo final.

MiWi: Los dispositivos pertenecientes a MiWi forman parte de un protocolo inalámbrico propietario de Microchip Technologies basado en el estándar IEEE 802.15.4 que engloba las redes de área personal con tasas bajas de transmisión de datos, corto rango y bajo costo, debido principalmente a la poca cantidad de componentes, recursos necesarios y fácil integración. Emplea la interfaz MiMAC para comunicarse con los transceptores de radiofrecuencia de Microchip y usa la interfaz MiApp para comunicarse entre la aplicación de usuario y el protocolo MiWi. Es por ello que está diseñado para trabajar con todos los transceptores de Microchip y su amplia gama de frecuencias [10].

Es un proyecto de código abierto, con la única limitación de utilizar micro-controladores de Microchip Technology y su transceptor MRF24J40. Es capaz de formar redes punto a punto, de estrella o malla, figura 1.18. Pueden tener 8 coordinadores como máximo por red, y cada uno de éstos 127 esclavos, haciendo un total de 1024 de nodos por red. Es gratuito, y no requiere la compra de licencias para su uso, siempre que se utilicen componentes de Microchip Technology. Como se puede observar, MiWi posee una capacidad de infraestructura más limitada en número de nodos por red, 1024, que los 64000 nodos de ZigBee.

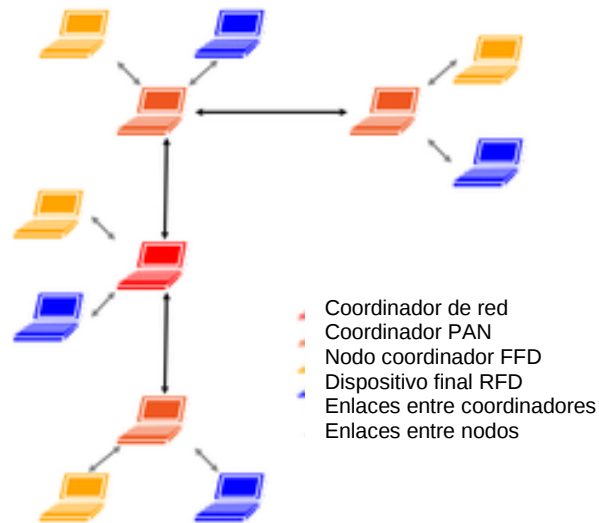


Figura 1.18. Árbol del clusters IEEE 802.15.4.

Conclusiones parciales:

- El estudio de los fundamentos teóricos de los sistemas de supervisión y control permitió valorar las ventajas que presentan los mismos para ser aplicados en diferentes instalaciones, entre ellas las del sector turístico.
- La evolución histórica de las funcionalidades y posibilidades de los sistemas de supervisión y control tratados en esta investigación demostró el avance y la importancia de los mismos para aumentar el confort y la seguridad, disminuir los portadores energéticos y utilizar los recursos de manera más eficiente.
- La caracterización teórica de las redes inalámbricas de comunicación demostró el rápido desarrollo de las mismas debido a las grandes ventajas que presuponen.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES HOTELERAS

Introducción

En el presente capítulo se realiza un estudio de la situación actual de automatización de dos instalaciones hoteleras que constituyen los dos casos de estudio de esta investigación: Hotel Las Américas, en Santiago de Cuba y Brisas Santa Lucía, en Camagüey.

2.1. Hotel Las Américas

El Hotel Las Américas tiene Categoría 3 Estrellas, pertenece a la Cadena Hotelera ISLAZUL, y está ubicado en la Avenida Las Américas y General Cebreco, en Santiago de Cuba, el mismo se muestra en la figura 2.1. Dicho hotel posee 70 habitaciones climatizadas con baño privado, caja de seguridad, mini bar, TV vía satélite y teléfono. Presenta además otras instalaciones: restaurantes, bares, parrillada, piscina, cafetería, cabaret, salón de reuniones, tienda, cambio de moneda, agencias de turismo, correo, telefonía nacional e internacional, servicio de Internet, parqueo, taxis y renta de autos.



Figura 2.1. Hotel Las Américas.

2.1.1. Descripción del flujo tecnológico del sistema de calentamiento de agua.

Este Hotel cuenta con una instalación solar térmica para la obtención de agua caliente. Este tipo de sistemas se basa en el uso de colectores solares que reciben la energía del sol incidente en ellos para luego transmitirla al fluido que se desea calentar, en este caso es agua potable proveniente de la red hidráulica. La instalación está compuesta por un circuito hidráulico en el que el agua de consumo circula por los colectores solares. En la Figura 2.2 se muestra el diagrama general de la instalación, formado por los siguientes componentes:

- (1) Entrada de agua fría
- (2) Bomba circulación de agua por los colectores
- (3) Banco de colectores solares
- (4) Depósito Termo-acumulador
- (5) Bomba de recirculación de agua por las habitaciones
- (6) Habitaciones
- (7) Caldera de respaldo

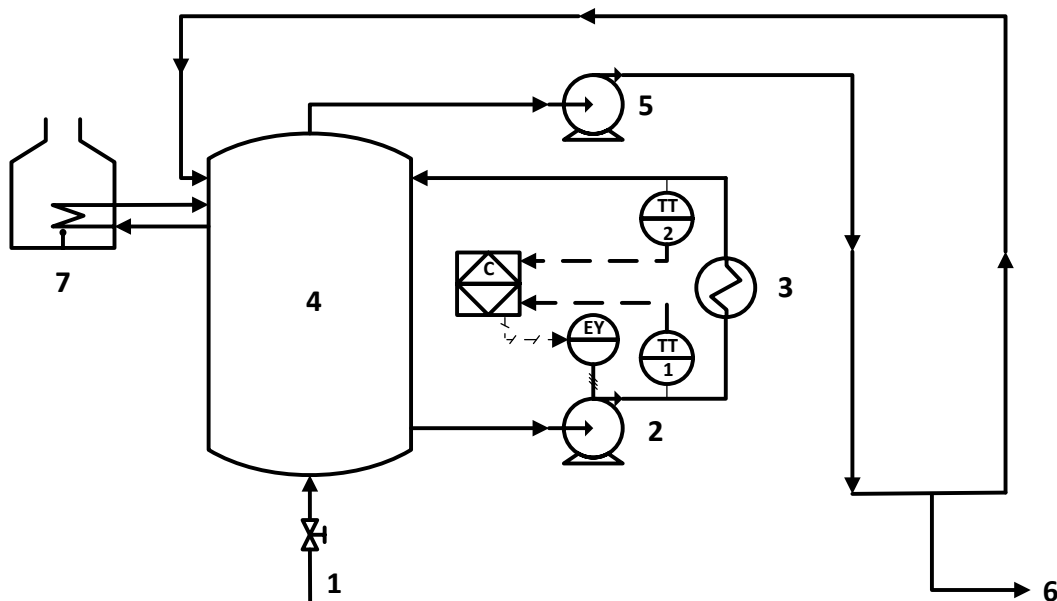


Figura 2.2. Esquema del sistema de calentamiento de agua.

El sistema actual utiliza circulación forzada, es decir, emplea bombas para garantizar la circulación del agua por todo el sistema.

Elementos que conforman la instalación:

A continuación se realiza una descripción de los principales componentes del sistema con el objetivo de conocer el funcionamiento de los mismos.

Colectores Solares: Estos colectores utilizan la energía solar, permitiendo el paso de los rayos del sol a través de su cubierta hasta la superficie captadora, donde los rayos de luz (de onda corta) son transformados en calor, ver figura 2.3. El líquido a calentar circula dentro de los tubos captadores y luego se almacena en el tanque Termo-acumulador.

La instalación emplea 32 colectores solares planos de 1.9 m^2 cada uno, distribuidos en 8 baterías de 4 colectores.



Figura 2.3. Colectores solares planos.

La figura 2.4 muestra los principales elementos de un colector solar plano: (1) Cubierta transparente, (2) Superficie captadora y conductos de circulación del líquido, (3) Aislamiento térmico, (4) Carcasa, (5) Juntas y selladores, (6) Cabezal para la conexión al sistema.

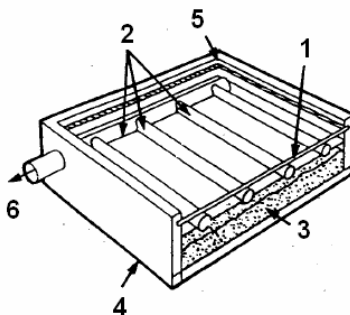


Figura 2.4. Elementos de un colector solar plano.

Un colector solar plano está compuesto por una caja con aislamiento en el fondo y en los laterales, sobre la que se monta la placa o superficie captadora, que es de un material selectivo para aumentar la eficiencia de la captación de energía. A la plancha se encuentran soldados tubos por los que circula el líquido a calentar, así como los cabezales de entrada y salida. Los tubos que entran y salen del lateral de la placa permiten que se pueda conectar el sistema a la instalación de agua. La carcasa, normalmente metálica, es la estructura que rodea el aislamiento posterior y soporta el vidrio; es diseñada para evitar pérdidas de calor. La tapa frontal es de vidrio resistente a impactos y a las oscilaciones térmicas, además en muchos casos es un vidrio selectivo el cual favorece el efecto invernadero dentro del colector, siendo una de sus funciones principales la de evitar las pérdidas de calor por convección hacia el ambiente.

Tanque Termo acumulador: La función del depósito es conservar el agua a la temperatura obtenida por los colectores solares durante un tiempo limitado, normalmente entre 1 y 4 días en el caso de sistemas pequeños. Específicamente el depósito de esta instalación tiene forma cilíndrica con dimensiones de diámetro y altura iguales a 2.168 m cada una para un volumen aproximado de 8000 litros. El tanque se ha construido con dimensiones de diámetro igual a la longitud para minimizar las pérdidas de calor, ya que de esta manera se obtiene un mayor volumen en la menor área posible (exceptuando un tanque esférico que no fue utilizado debido al alto costo requerido para su construcción). Para el aislamiento térmico se utilizó Armaflex de 50 mm de espesor, recubierto con una pintura de protección contra los rayos ultravioletas. También se incluyó un ánodo de Zinc para eliminar la corrosión galvánica dentro del tanque.

Bombas para la circulación del agua: Estos elementos impulsan el líquido portador de calor desde los colectores hasta el almacenamiento y luego al punto de consumo. La figura 2.5 muestra las bombas empleadas en esta instalación; las mismas son del tipo centrífugas y desarrollan una potencia de 75 W a 220 V y 60 Hz. Las mismas son

accionadas por un motor eléctrico, soportan una temperatura del agua de hasta 150 °C y cuentan con 3 velocidades de trabajo. El sistema de montaje es muy sencillo, lo que unido a la robustez de su diseño la hace óptimo para este tipo de instalaciones.

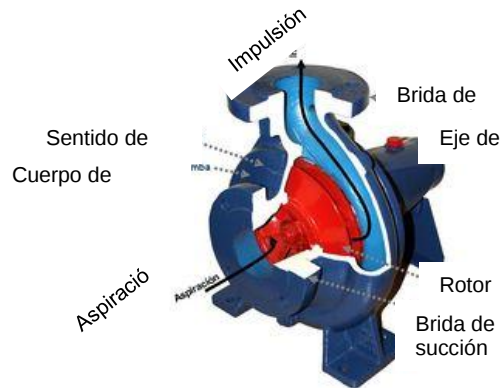


Figura 2.5. Bomba centrífuga marca GRUNDFOS UPE 25-40.

Caldera de respaldo: Esta caldera es un dispositivo termodinámico que utiliza como energía el gas licuado del petróleo (GLP), para elevar la temperatura del agua, ver figura 2.6. En este caso es utilizada para elevar la temperatura del agua en el depósito acumulador en días nublados, épocas de baja radiación solar o en los ciclos de mantenimiento de los calentadores solares.



Figura 2.6. Caldera de respaldo.

Tuberías de agua: Las tuberías y accesorios que se utilizan en la distribución del agua por todo el bloque habitacional son de plástico de 1" y 2". Las tuberías de entrada de agua a los colectores solares y de la caldera de respaldo son de hierro galvanizado de 2" y se encuentran revestidas por material aislante (lana de vidrio) para evitar pérdidas de calor.

Aislamiento: El aislamiento de colectores y tuberías es necesario para reducir al máximo las pérdidas de calor y mantener la temperatura del agua en el circuito. Debido a que los conductos suelen calentarse excesivamente (especialmente si el sistema está detenido), se emplean materiales resistentes capaces de soportar temperaturas de hasta 150° C. Ejemplos de estos materiales son: lana mineral, espuma de poliuretano, lana de vidrio, fibras de madera, entre otros.

2.1.2. Caracterización de la automatización actual.

Para un mejor análisis se divide el sistema de calentamiento de agua en dos subsistemas, el primero es el que hace fluir el agua por los colectores solares y el segundo es el encargado de hacer circular el agua caliente a través de las habitaciones.

Subsistema de circulación de agua por los colectores: Una vez abierta la válvula de entrada de agua al sistema (1), el tanque cilíndrico (4) deberá permanecer lleno, ya que el depósito exterior se encuentra a mayor altura que el sistema de calentamiento.

El ciclo de funcionamiento comienza cuando se detecta que la temperatura a la salida del banco de colectores solares (3) es mayor que la temperatura de entrada al banco de colectores en 5°C; dicho valor se determinó experimentalmente midiendo con un termómetro la temperatura a la entrada y a la salida del banco de colectores. Una vez dada esta situación se debe encender la bomba de circulación de agua que pone en movimiento el líquido a través de los colectores, los cuales intercambian el calor recibido por la radiación solar con el agua fría.

Cuando el agua se caliente se deposita en el tanque Termo-acumulador (4) a una altura equivalente a un tercio (1/3) de su volumen total. Este ciclo se repite continuamente hasta que la condición anterior deje de cumplirse o hasta que la temperatura en el interior del tanque Termo-acumulador sea igual o mayor que la prefijada, en este caso se debe apagar la bomba de circulación.

Como puede observarse en la figura 2.2 no se utiliza ningún dispositivo para homogeneizar la temperatura del agua dentro del tanque, pues de esta manera aunque la temperatura en la parte inferior y media del Termo-acumulador sea baja, siempre la temperatura en la parte superior será mucho más alta, lográndose así una mayor disponibilidad y ahorro de energía.

Subsistema de circulación de agua por las habitaciones: Al ser este tipo de instalación

de tamaño mediano es necesario el uso de una tubería de conducción de retorno para llevar el agua caliente sanitaria (ACS) lo más cerca posible de los puntos de consumo y que el usuario no tenga que esperar tanto a que llegue el agua caliente. La norma obliga a poner este retorno cuando el punto de consumo más alejado del acumulador esté a 15 o más metros de distancia. El ACS es agua destinada al consumo humano (potable) que ha sido calentada. Se utiliza tanto para usos sanitarios humanos (baños, duchas y otros), como para usos de limpieza (por ejemplo: fregado de platos, lavadora, lavavajillas, fregado de suelos).

Cuando se proyectó el sistema se previó la utilización de un controlador diferencial de temperatura marca GoldLine Modelo GL-30, el mismo solamente permitía la conexión de dos sensores de temperatura (Termistores) para controlar una única bomba que se encargaba de hacer circular el líquido a través de los colectores (ver figura 2.2). Esta solución tenía como principales inconvenientes que la bomba de recirculación para las habitaciones siempre debía permanecer encendida, además de no brindar ninguna forma de visualizar los parámetros medidos puesto que el funcionamiento interno del equipo solamente se basaba en comparar la resistencia eléctrica de los sensores con el valor prefijado en los potenciómetros de ajuste y, en función de eso, encender o apagar la bomba.

En el caso de la caldera de respaldo (7), la entrada y salida son conectadas a igual altura que la salida del banco de colectores solares. La misma tiene su propio sistema de control, que funciona de manera independiente al resto del sistema y garantiza que, de ser necesario, se eleve la temperatura del agua en la parte superior del depósito hasta el valor requerido; esta necesidad puede ser generada, por ejemplo, en días de baja insolación. El sistema también incluye las tuberías que distribuyen el agua por todo su sistema de calentamiento, así como por el bloque habitacional.

2.1.3. Propuesta de la estrategia de control para el sistema.

Se requiere de la implementación de un nuevo sistema de automatización debido a la necesidad de mejorar las prestaciones en cuanto a posibilidades de:

- Eliminar el inconveniente de mantener siempre encendida la bomba de recirculación de agua.
- Obtención de datos instantáneos de los diferentes parámetros.
- Almacenamiento de la información en una base de datos para posibles estudios futuros de eficiencia en sistemas mixtos de calentamiento de agua.
- Visualización remota de los parámetros que posibilite monitorear el proceso sin

necesidad de que algún operario se encuentre físicamente en la instalación.

- Posibilidad de planificación de mantenimientos predictivos, redundando en una mayor sostenibilidad del sistema.

De acuerdo a las características de la planta objeto de estudio, se decide implementar una estrategia de control que tenga en cuenta la regulación por diferencia de temperatura para los dos subsistemas; manipulando las dos bombas de agua en base a cuatro sensores de temperatura y además, que ofrezcan las posibilidades antes mencionadas; dicha estrategia se muestra en la figura 2.7.

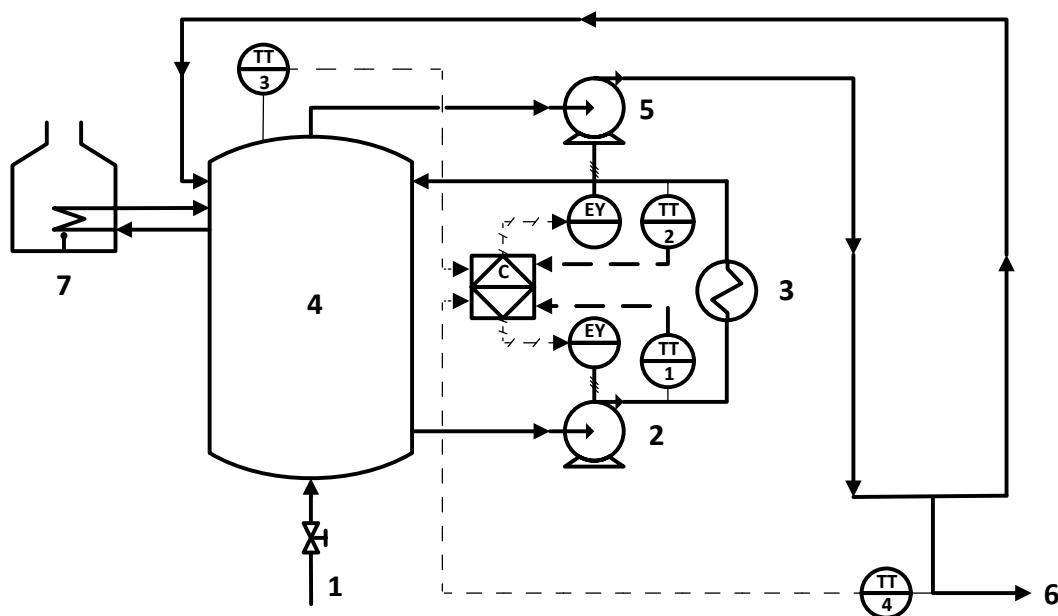


Figura 2.7. Propuesta de la estrategia de control para el sistema.

Esta estrategia de control dispone de 4 sensores de temperatura para medirla en diferentes puntos del sistema de calentamiento de agua y que controlan, a través de dos actuadores, el encendido y apagado de la bomba de circulación de agua por los colectores solares y el de la bomba de recirculación de agua por las habitaciones.

Los 4 sensores de temperatura del sistema son:

TT1: Transmisor de temperatura a la entrada del banco de colectores.

TT2: Transmisor de temperatura a la salida del banco de colectores.

TT3: Transmisor de temperatura en el depósito acumulador.

TT4: Transmisor de temperatura en el sótano del hotel.

La temperatura a la entrada del banco de colectores se obtiene mediante el TT1, para garantizar que la bomba de circulación de agua se encienda solamente si los colectores están elevando la temperatura en más de 5°C, es decir, si se cumple la siguiente condición:

$$\text{Si } [(T_2 > (T_1+5))] \rightarrow \text{Encender bomba de circulación de agua} \quad (2.1)$$

Mediante el encendido de la bomba de circulación de agua a través de los colectores se establece la temperatura en el tanque acumulador teniendo en cuenta los transmisores de temperatura 1 y 2. Las condiciones de encendido y apagado de dicha bomba se analizan en el gráfico mostrado en la figura 2.8.

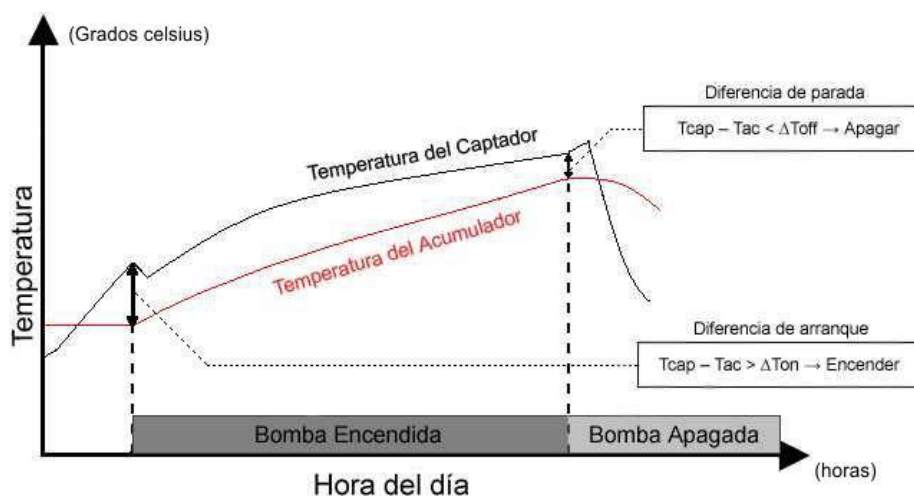


Figura 2.8. Condiciones de encendido y apagado de la bomba de circulación de agua a través de los colectores.

En el gráfico de la figura 2.8 las diferentes variables que se tienen en cuenta son las siguientes:

Tcap: temperatura en el captador o colector obtenida mediante el transmisor TT2.

Tac: temperatura en el tanque acumulador obtenida mediante el transmisor TT3.

ΔToff y ΔTon: valores de temperatura prefijados por los operadores que se utilizan como consignas para encender y apagar la bomba.

En el caso de la caldera de respaldo se dispone de una bomba que siempre debe estar encendida para evitar incrustaciones en el interior de la misma. Además, tiene un controlador independiente que gestiona el encendido y apagado de la caldera y en el que deben ajustarse los requerimientos de la temperatura del agua en el hotel.

La bomba de recirculación de agua se enciende cuando con la medición de la temperatura en el depósito acumulador y en el sótano del hotel a través del TT3, se cumple la siguiente condición:

$$\text{Si } [(T_4 < T_d) \wedge (T_3 > (T_4 + K))]$$
 (2.2)

Donde T_d es la temperatura deseada en las habitaciones y K es un valor de temperatura que se incluye debido a las pérdidas que ocurren cuando se transporta el líquido caliente desde el depósito hasta el punto de consumo. De tal forma se garantiza que la bomba de recirculación de agua solamente se encienda si la temperatura en el tanque acumulador brinda la posibilidad de igualar T_4 y T_d .

Generalmente en los sistemas solares para calentamiento de agua no se utiliza ningún tipo de sistema de supervisión a distancia. Esto se debe en gran medida al desinterés de las entidades que explotan los mismos, ya que la supervisión remota no es un aspecto imprescindible para su correcto funcionamiento. Es por tal motivo que los especialistas no lo incluyen en su diseño y de esa forma se disminuyen los costos de inversión.

En el caso correspondiente al Hotel Las Américas se hace necesario la implementación de un sistema de supervisión y control debido al interés mostrado por parte de la dirección de la entidad y por los ingenieros del Departamento de Automática de la Universidad de Oriente en desarrollar estudios sobre la eficiencia y funcionamiento de ese tipo de sistema.

2.2. Hotel Brisas Santa Lucía.

El Hotel Brisas Santa Lucía tiene Categoría 4 Estrellas y se encuentra situado en Avenida Turística, Playa Santa Lucía, Nuevitas, Camagüey; el mismo se observa en la figura 2.9. Entre las instalaciones y servicios de este hotel se incluyen pistas de tenis al aire libre, sauna, discoteca, playa privada, servicios de masajes y piscina, discoteca, restaurantes, club infantil y jardines exteriores. El Hotel ofrece habitaciones equipadas con mini bar, secador de pelo y canales por cable/satélite.



Figura 2.9. Hotel Brisas Santa Lucía.

Como resultado del diagnóstico efectuado en la etapa preparatoria de la investigación, se realiza una exploración en el Hotel Brisas Santa Lucía, manifestándose los siguientes aspectos:

- Insuficiente preparación de técnicos e ingenieros con respecto a las ventajas de un sistema de supervisión y control para favorecer la satisfacción de los clientes.
- No existe en el Hotel un sistema de supervisión y control para aumentar el confort y la seguridad, ni para reducir el consumo eléctrico y demás portadores energéticos.
- Existe disponibilidad de los recursos para la ejecución de un sistema de supervisión utilizando la tecnología MiWi.

2.2.1. Descripción del bloque habitacional.

El Hotel Brisas Santa Lucía se encuentra ubicado en la costa norte de la provincia camagüeyana y tiene un total de 416 habitaciones. En la figura 2.10 se muestran los 4 bloques habitacionales que presenta el hotel, cada bloque tiene 2 niveles con 52 habitaciones cada uno, por lo que cada bloque cuenta con 104 habitaciones.



Figura 2.10. Bloques habitacionales del Hotel.

Las habitaciones del Hotel están compuestas por un pasillo central, un closet, un baño, el dormitorio y un balcón. Tienen además dos medios de accesos a la misma: la puerta principal y la puerta del balcón; ésta última es de tipo corrediza o de corredera. Las dimensiones y distribución geográfica de las habitaciones se encuentran recogidas en la figura 2.11.

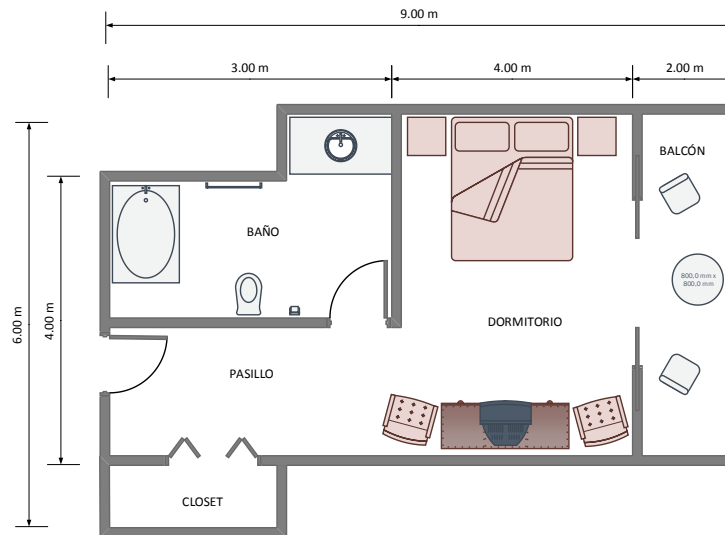


Figura 2.11. Dimensiones y distribución geográfica de las habitaciones.

2.2.2. Consumo energético de la instalación.

El funcionamiento constante de todos los sistemas hoteleros con el fin de mantener el confort, la seguridad y el bienestar del cliente, conlleva a un considerable gasto de energía y demás portadores energéticos. Mediante un cuidadoso estudio es posible

adoptar un sistema que permita utilizar los recursos energéticos de manera más eficiente y, a la vez, mantener un servicio de calidad hacia los huéspedes de los hoteles.

Consumo energético de las habitaciones.

La cantidad de energía eléctrica que consume un equipo eléctrico depende de la potencia en “Watts (W) o kiloWatts (kW)” del equipo y de la cantidad de horas (h) que se encuentre funcionando. El consumo de energía se determina por:

$$\text{Energía (kWh)} = \text{Potencia (kW)} \times \text{Tiempo (h)} \quad (2.3)$$

Es conocido que el Hotel Brisas Santa Lucía trabaja todo el año, es decir 365 días (las temporadas de alta y baja turística). Atendiendo a datos y consideraciones de la subgerencia de mantenimiento de dicho hotel, el cliente que ocupa una habitación permanece un tiempo promedio de 10 h haciendo uso de la iluminación y el aire acondicionado trabajando por 24 h. Según los datos mencionados, se hizo el siguiente análisis:

Al hotel poseer un total 416 habitaciones, figura 2.12, y cada una tener 4 bombillos de 40 W y considerando además el tiempo de estancia del cliente en la habitación, existe un gasto diario de 1600 W/h, lo que provoca un gasto de 584 kW/h al año en cada habitación y 238 MW/h en toda la instalación por concepto de iluminación en el interior de las habitaciones. Además, el sistema de climatización consume más de 1 MW/h diariamente y un promedio de 365 MW/h anualmente, lo que demuestra que los gastos del consumo eléctrico, tanto en la parte de iluminación como de climatización, son realmente elevados.



Figura 2.12. Interior de una habitación.

En la tabla 2.1 se muestran todos los sistemas que influyen en la magnitud del gasto energético del Hotel Brisas Santa Lucía, destacándose la climatización como el mayor consumidor de energía eléctrica; algo normal por las características tropicales de nuestro país y porque el hotel se encuentra en funcionamiento durante todo el año. Por ello es una prioridad de la dirección de esa institución, la reducción del índice de consumo eléctrico y el mantenimiento de la eficiencia y confort dentro de las habitaciones y demás locales climatizados.

Tabla 2.1. Sistemas que influyen en la magnitud del consumo energético.

Sistema	Porcentaje del consumo total
Climatización de habitaciones y locales	60 - 70
Refrigeración (víveres y licores)	4 - 6
Iluminación	6 - 8
Agua Caliente (Calentador Eléctrico)	10 - 12
Bombeo de agua	1 - 1.5
Ascensores (huéspedes y carga)	1 - 2
Vapor (uso general)	1 - 2
Gastronomía (cocción de alimentos)	6 - 8
Otros	3 - 5

Cómo se observa en la tabla anterior, el sistema de iluminación provoca gastos energéticos entre el 6 y el 8 % del consumo total y el de climatización es el de mayores gastos, al estar entre el 60 y el 70 % de todo el consumo.

2.2.3. Sistemas de identificación del cliente

Los sistemas de identificación se basan en los siguientes aspectos: se identifica al sujeto por “algo que sabe” (una clave solamente conocida por él y por el encargado de identificarle), “algo que tiene” (una identificación como el DNI o una tarjeta) o “algo que es” (un rasgo de identificación biométrica). Como se puede deducir, el último aspecto es muy complicado, al ser difícil identificar al cliente en hoteles grandes, y no ser necesarios los sistemas de identificación biométrica, aparte de que son caros y poco adecuados.

El sistema más ampliamente utilizado para el control en el sector hotelero es el de las tarjetas: con banda magnética, o con código de barras y, últimamente, han aparecido en escena las tarjetas con chip. Todos los sistemas anteriores son válidos, pero cada uno tiene sus propias limitaciones y hay que adecuarlos al entorno o forma de gestión interna. En principio se pueden dividir los sistemas de control de tarjetas en sistemas en línea y en autónomos.

En este caso se selecciona el sistema en línea, donde la tarjeta se utiliza exclusivamente para la identificación del cliente, siendo toda la información almacenada en el ordenador central. En este tipo de sistema la tarjeta no necesita poseer capacidad de almacenamiento, algo que repercute en su costo, ya que, a no ser que se opte por una tarjeta muy sofisticada, el costo de cada una será sensiblemente inferior al de sus homónimas con memoria, hasta menos de un tercio. La principal ventaja del sistema en línea es la velocidad que suelen tener los dispositivos de lectura y el hecho de acceder a toda la información en cualquier momento, evitándose problemas de falsificación de tarjetas y facilitándose el control de las mismas y los movimientos asociados a ellas. Como desventaja tienen el hecho de ser totalmente dependientes del ordenador central, y en el caso de caída del sistema, se debe prever su uso manual para evitar la paralización del hotel.

Los sistemas autónomos, sin embargo, obligan a que las tarjetas dispongan de memoria. Al ser dispositivos autónomos almacenan cierta información en la tarjeta (número de habitación, validez, saldo disponible), siendo dicha información la que se modifica para almacenar el nuevo estado luego de cualquier cambio o transacción. Estos sistemas obligan a que los dispositivos necesarios para su lectura sean más costosos, igual que la tarjeta, además, no almacenan los diferentes movimientos que se realizan en una tarjeta, sino solamente el resultado final.

2.2.4. Caracterización del Sistema con Cerradura Electrónica.

Con el fin de reducir los principales gastos energéticos del Hotel Brisas Santa Lucía se implementa un sistema con cerraduras electrónicas para incrementar la seguridad y simplificar la gestión de la institución, ofreciendo muchas más prestaciones que la simple apertura y cierre de puertas, ya que las investigaciones más recientes demuestran que los huéspedes se sienten más seguros utilizando una tarjeta en vez de una llave tradicional porque conocen que las cerraduras se reprograman con una nueva tarjeta para cada huésped.

El sistema de cerraduras electrónicas permite un total control de las habitaciones. Las cerraduras utilizadas en el Hotel se muestran en la figura 2.13.



Figura 2.13. Cerraduras electrónicas.

Las tarjetas pueden utilizarse de diversas formas:

Tarjeta de Huésped: son las tarjetas que utilizan los huéspedes de una habitación determinada durante el periodo de su estadía.

Tarjeta de Personal de Limpieza: es la utilizada por el personal de limpieza, permitiendo abrir más de una habitación; generalmente asignada a un sector, piso o área determinada. De esta manera se logra un efectivo control del personal.

Tarjeta de Personal de Mantenimiento: la utiliza todo el personal de mantenimiento, abre cualquier habitación de un sector, piso o área determinada.

Tarjeta de Gerencia: es utilizada por el personal jerárquico del hotel y puede abrir todas las habitaciones del hotel.

Tarjeta de Emergencia: permite la apertura de cualquier cerradura, aun estando bloqueada desde su interior, para ser utilizada en caso de emergencia.

Tarjeta de Programación: se utiliza para realizar la configuración y puesta en marcha del sistema de programación, permitiendo asignar número de habitación, sector o piso, fecha y hora.

Las llaves de tarjetas son muy utilizadas en los hoteles para posibilitar a los huéspedes el acceso a las habitaciones y como interruptor general de la corriente eléctrica cuando los mismos se ausentan, ver figura 2.14. Dicha tarjeta se actualiza cada vez que un cliente causa alta en el hotel, figurando grabados en su banda magnética los datos del huésped, incluyendo fechas de entrada y salida.



Figura 2.14. Llave de tarjeta.

Banda magnética: Una banda magnética (llamada a veces magstripe), ver figura 2.14, es toda aquella banda oscura presente en tarjetas de crédito, abonos de transporte público o carnets personales que está compuesta por partículas ferromagnéticas incrustadas en una matriz de resina (epoxi) y que almacena cierta cantidad de información mediante una codificación determinada que polariza dichas partículas.

La llave de tarjeta también se utiliza como interruptor general, ver figura 2.15, y ha sido creada para controlar y racionalizar el consumo eléctrico de una o varias zonas mediante la colocación y/o extracción de una tarjeta plástica en una ranura dispuesta a tal fin con el objetivo de maximizar los beneficios en el ahorro energético. Al conjunto de la tarjeta y del interruptor se denomina lector/contenedor de tarjeta.

Como lector/contenedor se selecciona el modelo PTI/U 1.1 para su aplicación en el Hotel Brisas Santa Lucía, ya que opera con un microswitch que recibe la orden del ingreso de la tarjeta, cerrando el contactor que activa los tomacorrientes de 110 y 220 V y los interruptores para el encendido de las luminarias dentro de cada habitación. El retiro de la tarjeta cambia el estado del contactor abriendo el circuito eléctrico.



Figura 2.15. Interruptor general que utiliza la llave de tarjeta.

En el anexo 2 se detallan los datos técnicos del Lector/contenedor de tarjetas PTI/U 1.1 utilizado, así como la configuración de los componentes para las funcionalidades del control de acceso, los parámetros para los relés, la conexión de los diferentes componentes y el significado de los leds.

El software que es provisto junto con las cerraduras permite ser utilizado por diversos operadores y asignar distintas autorizaciones a cada uno de ellos. Aparte de la administración de las tarjetas, el software posibilita además tener un control sobre las habitaciones vacías, limpias, a preparar, registro de huéspedes, reportes, entre otros.

Con el software de administración de las cerraduras se puede grabar las tarjetas, permitiendo la configuración de las cerraduras para su puesta en marcha antes de ser utilizadas por los huéspedes y personal del hotel. Con un simple procedimiento se reprograma una nueva tarjeta en pocos segundos e instantáneamente se anula la tarjeta previa. Además, los sistemas de programación cuentan con más de tres billones de combinaciones. La figura 2.16 muestra el sistema que se utiliza en el hotel para reprogramar las llaves de tarjeta.

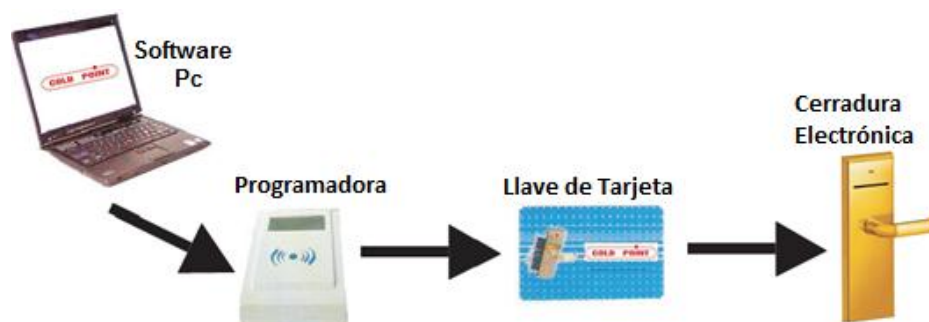


Figura 2.16. Sistema para reprogramar las llaves de tarjeta.

Luego de implementar el sistema con cerraduras electrónicas para incrementar la seguridad y simplificar la gestión del hotel, la dirección del mismo solicita implementar un sistema de supervisión para cada habitación ante la necesidad de incrementar la seguridad en los bloques habitacionales. Por lo anteriormente explicado se decide realizar, dentro de cada habitación, el estudio de sensores de presencia, así como de detectores de intrusos y humo para su posterior implementación.

2.2.5. Caracterización de los sensores.

Tomando en consideración la arquitectura de cada habitación y los requerimientos de la administración del hotel, se decide supervisar las variables: presencia, detección de humo y detección de intrusos dentro de las habitaciones.

Detector de presencia: Sensor que notifica cambio de estado al detectar presencia; se utilizó el modelo PIR IR 120, ver figura 2.17, el cual tiene conexión I2C, que no es más que un sencillo bus bidireccional basado en dos hilos por el que se transmiten los datos vía serie. Este tipo de sensor es de alta gama, pues tiene 4 niveles para ajustar la sensibilidad, además alcanza los 12 metros, trabaja con un voltaje entre 6 y 8 VCD, un consumo de corriente de 6 mA en activo y un rango de temperatura de -20 a 55 °C. Su reducido tamaño, bajo consumo y posibilidad de conexión, convierten a este sensor en uno de los dispositivos de mayor utilización.



Figura 2.17. Detector de presencia tipo PIR IR 120.

Detector de humo: Es un sensor de seguridad que detecta la presencia de humo en el aire y emite una señal avisando el peligro de incendio. Se utilizó el detector óptico modelo DO 1101A, que es un sensor opto-electrónico de alto rendimiento y espectro amplio, ver figura 2.18, presentando, además, alto grado de estabilidad y resistencia a suciedad, fluctuaciones térmicas, humedad, corrosión, y especialmente, a interferencias electromagnéticas.



Figura 2.18. Detector óptico de humo.

Detector de intrusos: Son sensores ubicados en los medios de acceso a las habitaciones que detectan si existe un cambio de estado en la puerta principal o en la del balcón. Se utilizan los sensores de proximidad Reed (denominados sensores magnéticos), ver figura 2.19, que constan de dos partes: el conmutador propiamente y el actuador magnético. El conmutador Reed cambia su estado ante el acercamiento del actuador magnético, sin necesidad de que exista contacto físico entre ambos.



Figura 2.19. Sensores de proximidad tipo Reed.

Conclusiones parciales:

- El estudio de la descripción del flujo tecnológico del sistema de calentamiento de agua del Hotel Las Américas permitió conocer los aspectos que lo caracterizan, así como el funcionamiento de la automatización actual.
- La estrategia de control implementada posibilitó la regulación por diferencia de temperatura en los dos subsistemas analizados y la manipulación de las bombas de agua en base a cuatro sensores de temperatura.
- La caracterización de los sistemas que ocasionan los mayores gastos de energía del Hotel Brisas Santa Lucía demostró que los sistemas de climatización e iluminación son los que mayormente influyen.
- El sistema con cerradura electrónica se implementó para disminuir los gastos energéticos, simplificar la gestión del hotel e incrementar la seguridad en los bloques habitacionales.
- El estudio de sensores de presencia y detectores de intrusos y de humo se realizó para facilitar su posterior ubicación dentro de las habitaciones.

CAPÍTULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL.

Introducción.

En este capítulo se realiza el diseño del hardware necesario para los sistemas de supervisión y control en las dos instalaciones hoteleras estudiadas en el presente trabajo y se seleccionan las plataformas para la implementación de dichos sistemas. Adicionalmente, se desarrollan los softwares a utilizarse en las tareas de supervisión y almacenamiento de los datos y para establecer la comunicación con los protocolos inalámbricos empleados en cada caso: ZigBee para el Hotel Las Américas y MiWi para el Hotel Brisas Santa Lucía.

3.1. Hotel Las Américas.

La figura 3.1 muestra la localización de los nodos del sistema de supervisión y control: el controlador y el de supervisión remota, señalándose además los tipos de dispositivos ZigBee que se implementan en cada uno de los nodos. Para el nodo donde se desarrollan las tareas de control, se utiliza un RFD, y un FFD en el nodo remoto, desde el cual se realizan tareas de supervisión y algunas acciones de control manual.

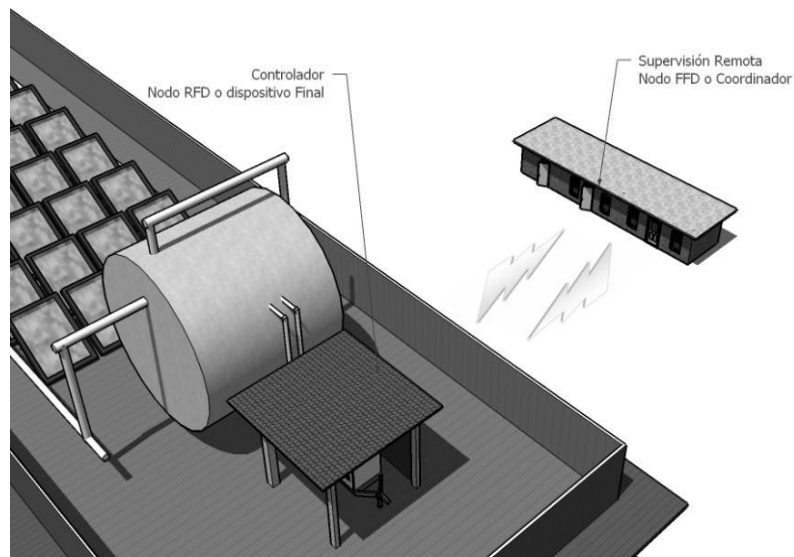


Figura 3.1. Ubicación de los nodos: controlador y supervisión remota.

3.1.1. Descripción del sistema de automatización.

La figura 3.2 muestra el esquema en bloques que se propone y se indican los protocolos que serán utilizados.

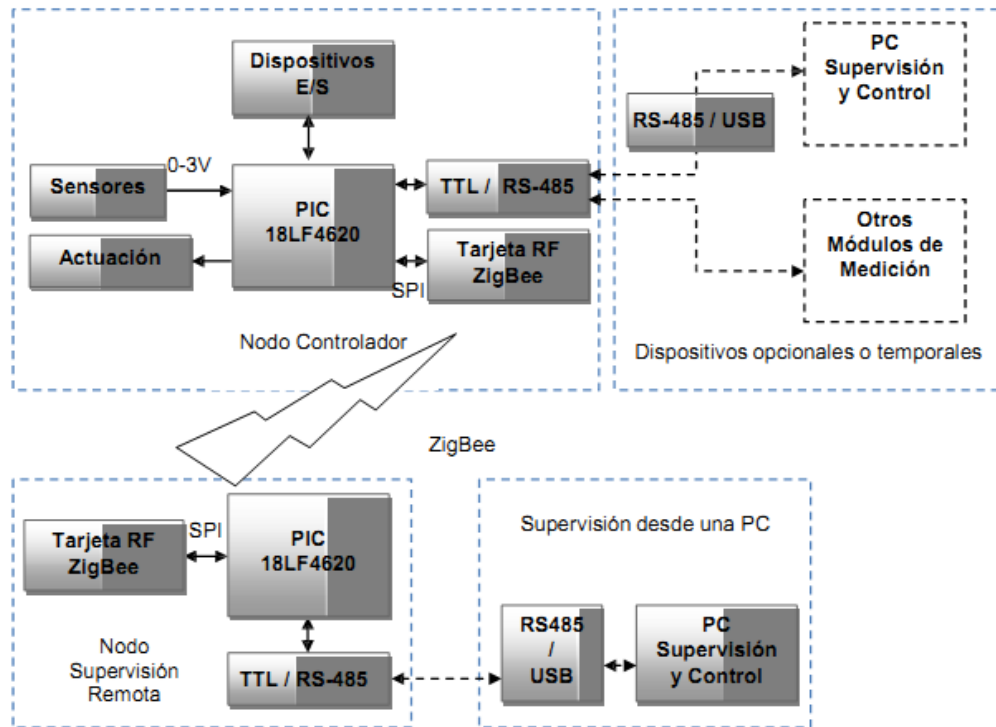


Figura 3.2. Esquema en bloques para el Sistema de Automatización.

El Nodo controlador está compuesto principalmente por:

1. *Micro-controlador PIC*: Es el centro del sistema, al ejecutar los algoritmos de medición, control y comunicación.
2. *Bloque de sensores*: Se utilizan como mínimo 4 sensores de temperatura, por lo que el diseño general de la aplicación se desarrolla para permitir la incorporación de cuatro entradas analógicas (0-3 V) generadas por el convertidor de temperatura, utilizándose un Convertidor-Acondicionador por cada sensor.
3. *Bloque de actuación*: Con este bloque se garantiza el “Encendido – Apagado” de las dos bombas encargadas de controlar el sistema, por lo que se incluyen dos Relés para accionar los contactos magnéticos que encienden y apagan dichas bombas.
4. *Dispositivos E/S*: Como dispositivos de entrada y/o salida se utilizan un teclado con cuatro botones y un Display. Mediante el teclado pueden ajustarse de manera local los puntos de operación del sistema, los cuales pueden visualizarse en el Display. Los operarios, además, tienen la posibilidad de obtener información sobre el estado

de las variables del sistema sin necesidad de acceder al de supervisión. No obstante, para garantizar que personas no autorizadas cambien los puntos de operación del sistema, es necesario incluir algún tipo de autenticación.

5. *Transceptor ZigBee*: Este bloque está compuesto solamente por la tarjeta MRF24J40, distribuida por Microchip en los módulos PICDEM ZTM.
6. *Comunicación Serie*: Se utiliza el puerto UART del PIC, al que se le adiciona un circuito convertidor para permitir la comunicación del controlador mediante la norma RS-485 con dispositivos opcionales.
7. *Dispositivos opcionales*: El programa del nodo controlador necesita de dispositivos opcionales, como son PC y módulos remotos de adquisición de datos (ICP o ADAM), para permitir expandir las prestaciones del sistema de medición en el desarrollo de estudios de eficiencia y comportamiento del sistema de calentamiento de agua.

El Nodo de Supervisión Remota que realiza las tareas de supervisión está compuesto fundamentalmente por:

1. *Micro-controlador PIC*: Su función es establecer la comunicación mediante el protocolo ZigBee con el nodo controlador y recibir información desde el programa de supervisión para su envío al controlador.
2. *Transceptor ZigBee*: Este bloque está compuesto por la tarjeta MRF24J40, distribuida por Microchip.
3. *Comunicación Serie*: Se utiliza el puerto UART del PIC con salida TTL estándar, al cual se le adiciona un circuito convertidor de norma para permitir la comunicación de este módulo con el programa de supervisión instalado en la PC. La salida del bloque es de tipo RS-485, convirtiéndose posteriormente a USB para garantizar la interacción directa del software de supervisión con el sistema de control.
4. *Módulo de conversión RS485-USB*: Para el mismo se seleccionó un dispositivo comercial distribuido por la corporación Advantech, el que brinda la posibilidad de convertir las normas físicas RS-485, RS-422 y RS-232 a USB.
5. *PC para supervisión*: Para el funcionamiento del sistema se hace imprescindible el uso de una PC para instalar el software que permita la supervisión remota.

El protocolo ZigBee fue concebido específicamente para su implementación en redes inalámbricas, opera en tres frecuencias: 2.4 GHz, 915 MHz y 868 MHz y soporta una velocidad máxima de transmisión de 250 Kb/s. Según el análisis efectuado en el capítulo anterior, esta tecnología fue seleccionada para ser aplicada en el sistema de calentamiento de agua del Hotel Las Américas, ya que incluye características importantes, como son: bajo consumo de potencia, facilidades de implementación,

bajo costo de adquisición, entre otros; presentando como única dificultad su relativa baja velocidad de transmisión, aunque no limitante por el tamaño y características constructivas del hotel.

3.1.2. Diseño del hardware del sistema de automatización.

Una vez realizada la propuesta del esquema en bloques para el sistema de automatización y seleccionados los sensores y acondicionadores requeridos, se procede a la implementación de los prototipos de hardware: Nodo Controlador y Nodo de Supervisión Remoto.

3.1.2.1. Nodo controlador.

En la figura 3.3 se muestran las diferentes partes del nodo controlador, cuyo esquema eléctrico aparece en el anexo 3.

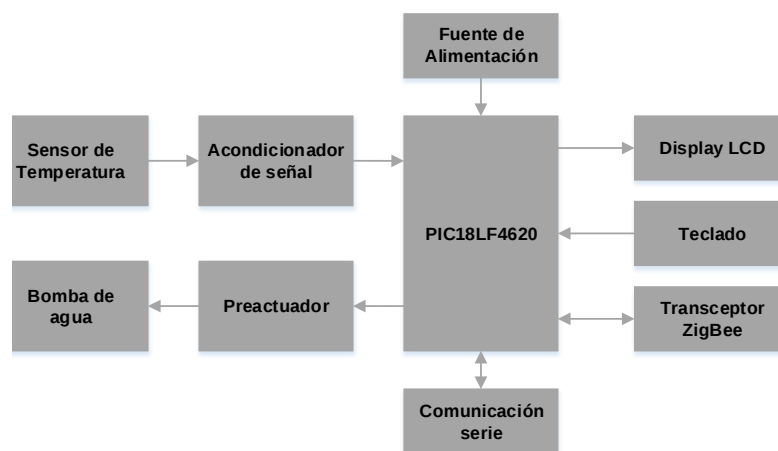


Figura 3.3. Esquema en bloques del nodo controlador.

A continuación se brinda una explicación de cada bloque que conforma el nodo controlador:

PIC 18LF4620: Se selecciona este PIC debido a sus prestaciones y características técnicas ya que permiten reducir el consumo de energía durante las operaciones. Además, el PIC seleccionado ofrece un alto rendimiento computacional a poco costo, con apreciable mejoría respecto a familias anteriores en cuanto a capacidad de memoria de programa. El esquema eléctrico de este micro-controlador se muestra en el anexo 4.

Sensor: Se selecciona un sensor RTD tipo PT1000 clase B que presenta una alta linealidad en la variación de su resistencia eléctrica frente a los cambios de temperatura, como se muestra en la figura 3.4.

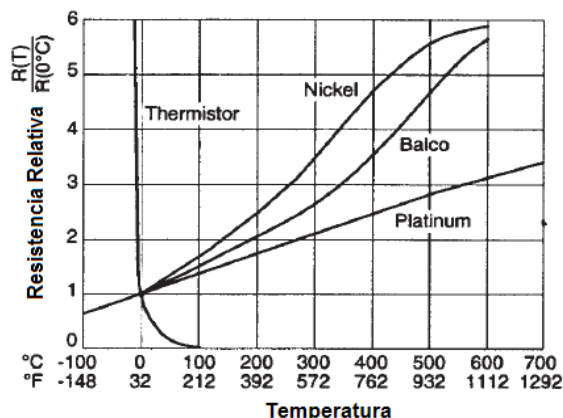


Figura 3.4. Resistencia vs. Temperatura para RTD's y Termistores típicos.

Acondicionadores de señal: Debido a que el sensor seleccionado para la aplicación es una RTD del tipo PT1000, se hace necesario el empleo de un circuito acondicionador de señal que sea capaz de convertir la resistencia eléctrica, elemento variable frente a cambios de temperatura, a un valor de voltaje equivalente, de manera que este último pueda ser leído por el micro-controlador para que se realicen las acciones de control. El esquema eléctrico de este circuito se muestra en la figura 3.5, donde se pueden apreciar cuatro etapas principales: fuente de corriente, medición, ajuste de cero y ajuste de sensibilidad.

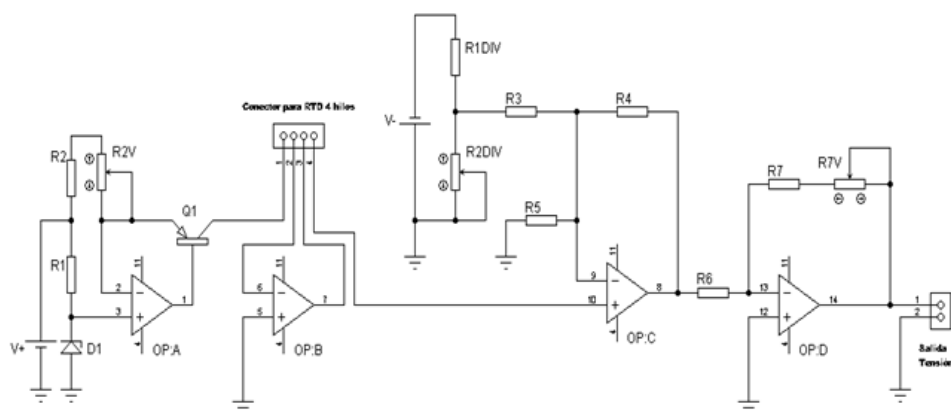


Figura 3.5. Circuito convertidor de temperatura en tensión.

La primera etapa, formada principalmente por el Amplificador Operacional A de la

figura 3.5, es una fuente de corriente que puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$I_0 = \frac{(V_+) - (V_{\text{diodo}})}{R_2} \quad (3.1)$$

La segunda etapa es donde se efectúa la conversión de resistencia en voltaje. La tensión de salida se obtiene mediante la ecuación 3.2:

$$V_{\text{salida}} = I_0 R_t(t) \quad (3.2)$$

La tercera etapa está formada por un amplificador diferencial que se emplea para lograr el ajuste de cero, ecuación 3.3:

$$V_{\text{salida}} = -V_- \frac{R_4}{R_3} + V_{\text{sensor}} \left(1 + \frac{R_4}{R_3} + \frac{R_4}{R_5} \right) \quad (3.3)$$

Para que la salida del amplificador diferencial sea cero, según la temperatura mínima que se desee, se hace necesario cumplir con la siguiente ecuación:

$$\frac{V_{R_4}}{R_3} = V_{\text{sensor}}(0^\circ\text{C}) * \left(1 + \frac{R_4}{R_3} + \frac{R_4}{R_5} \right) \quad (3.4)$$

La cuarta etapa se emplea para introducir una ganancia que a la vez influye en la sensibilidad del dispositivo. La ganancia puede calcularse mediante la fórmula de un amplificador en configuración inversora, mostrado en la siguiente ecuación.

$$V_{\text{salida}} = -\frac{R_7}{R_6} * V_{\text{entrada}} \quad (3.5)$$

Se emplean cuatro bloques acondicionadores de señal, para los que se reservaron los pines 2, 3, 4 y 5 del micro-controlador.

Pre-actuador: En la figura 3.6 se muestra el diseño del circuito correspondiente al bloque pre-actuador, donde el terminal de entrada se instala directamente a un pin del micro-controlador, alimentándose la bobina del relé con una tensión de 12 V DC mediante el transistor Q1.

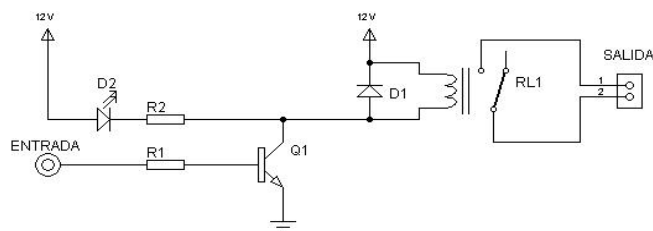


Figura 3.6. Diseño eléctrico del bloque pre-actuador para manipular una carga ON-OFF.

Al requerir el sistema de control la manipulación independiente de dos electrobombas, se incluyeron dos módulos iguales. Además, para implementar dicha conexión se instaló un contactor magnético Telemecanique (bobina de alimentación a 220V AC y 50 mA) entre los pines de “Salida” y la electrobomba como muestra la figura 3.7.

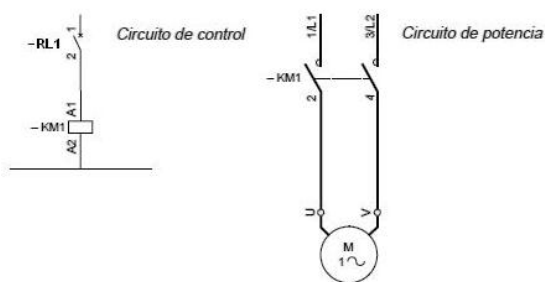


Figura 3.7. Circuito de control y de potencia para el control de una bomba.

El esquema mostrado en la figura anterior utiliza la simbología estandarizada por la norma IEC 1082-1.

Teclado: Este dispositivo se incluye de manera opcional para el usuario final. Como se muestra en la figura 3.8, se utilizan cuatro entradas digitales al micro-controlador; todas conectadas al puerto B con el objetivo de dar respuesta a los eventos generados por interrupciones. También se incluyeron una resistencia y un capacitor por cada tecla con el objetivo de eliminar el “rebote” provocado por la conmutación.

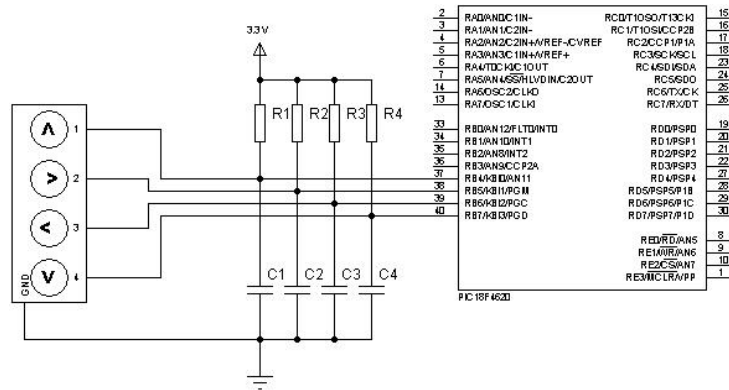


Figura 3.8. Diseño eléctrico del teclado para el nodo controlador.

Display de Cristal Líquido (LCD): La figura 3.9 muestra el esquema de conexión para el Display empleado, capaz de soportar una alimentación de 3.3 V debido a que el transceptor ZigBee a utilizar fue diseñado para funcionar con ese valor de tensión. Por tal motivo, se empleó el controlador LCD HD44780U de la corporación Hitachi, ya que soporta tensiones de alimentación entre 2.7 a 5.5V. La comunicación del micro-controlador con el controlador del LCD se realiza empleando solamente cuatro bits de datos, brindando así la posibilidad de utilizar los restantes pines para otras funciones.

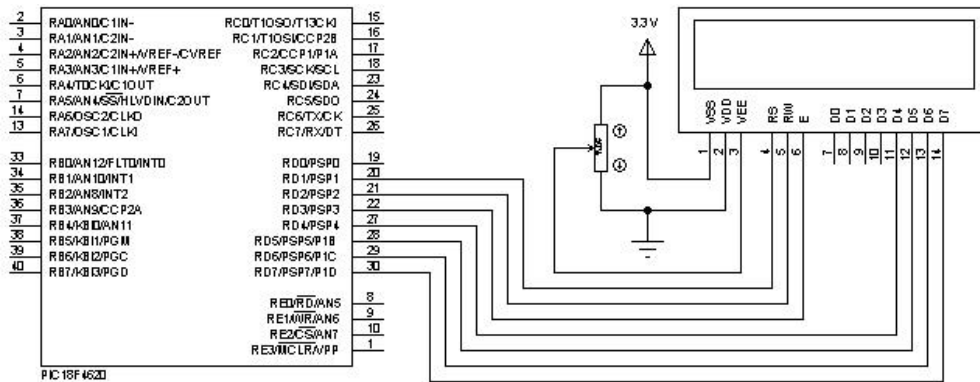


Figura 3.9. Esquema eléctrico de la conexión del LCD.

Comunicación Serie: La comunicación serie se implementa conectando el circuito integrado MAX3485 al micro-controlador a través de los siguientes pines: 25 para la transmisión, 26 para la recepción y 6 para la selección entre transmisión y recepción, ver anexo 5. Este circuito funciona básicamente como un adaptador de niveles de tensión, utilizándose de manera opcional dependiendo de la ampliación del sistema.

Transceptor ZigBee: Para el bloque de comunicación inalámbrica se utiliza la tarjeta de radio frecuencia MRF24J40, mostrada en la figura 3.10, que es distribuida en el módulo

PICDEMZ. Dicha tarjeta intercambia información con el micro-controlador mediante el protocolo SPI. El esquema eléctrico utilizado se muestra en el anexo 6.

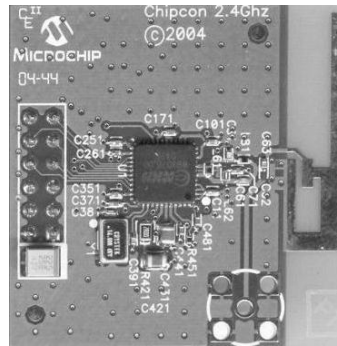


Figura 3.10. Tarjeta de Radiofrecuencia MRF24J40.

Fuente de Alimentación: Para este módulo fue necesario implementar una fuente de alimentación de +12, +3.3 y -12V. Las tensiones +/-12V se utilizan en los convertidores de temperatura en tensión y en el bloque de actuadores. La tensión de 3.3V se emplea en el resto del circuito.

Como se puede apreciar en la figura 3.11, se utilizan tres reguladores integrados de voltaje: un LM7812 para estabilizar la salida positiva de 12V, un LM7912 para estabilizar la salida negativa de -12V y un LM317L como regulador ajustable mediante las resistencias R1 y R2 para obtener una salida positiva de 3.3V

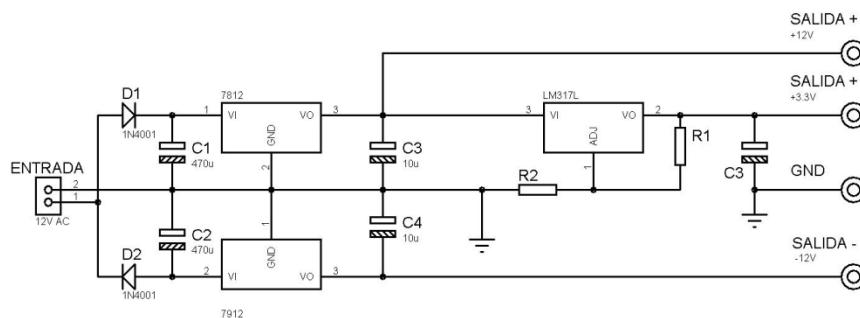


Figura 3.11. Fuente para la alimentación del módulo de control.

Para el diseño de esta fuente de alimentación se decide utilizar un transformador externo de AC de 12V sin derivación central, ya que el circuito a alimentar es de bajo consumo.

3.1.2.2. Nodo de supervisión.

El nodo de supervisión establece la comunicación con el nodo de controlador, además de permitir el desarrollo de programas para la supervisión y almacenamiento de información. En la figura 3.12 se muestra el diagrama en bloques del nodo empleado para la comunicación remota; el esquema eléctrico se muestra en el anexo 7.

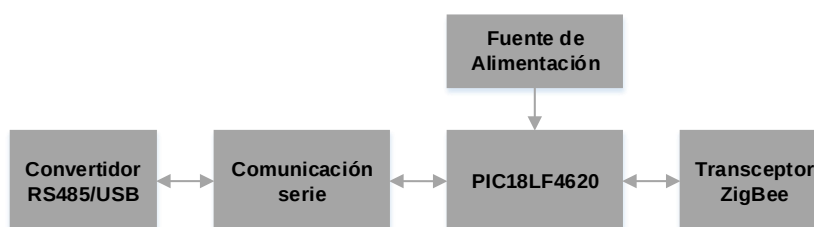


Figura 3.12. Esquema en bloques del nodo de supervisión.

PIC 18LF4620: Igual al utilizado en el nodo controlador.

Comunicación Serie: Se implementó la comunicación mediante el estándar RS-485, adicionándose un dispositivo externo (Módulo ADAM) para hacer una conversión a USB, brindando así la posibilidad de instalar el sistema de medición directamente a una PC, ver anexo 8.

Módulo ADAM: El Módulo ADAM-4561, figura 3.13, permite a los usuarios conectar un dispositivo serie a un sistema que utiliza una interfaz USB. Este módulo generalmente se emplea en módems, impresoras y dispositivos industriales de control, es compatible con USB V1.1 y ofrece diversas funciones, como son: alta velocidad de transmisión de 115.2 Kbps, compatibilidad con diversos sistemas operativos, conversión a RS-232/422/485, entre otras. Las especificaciones del módulo se muestran en el anexo 9.



Figura 3.13. Módulo para la conversión de RS-485 a USB.

Transceptor ZigBee: En este módulo se emplea otra tarjeta de radiofrecuencia MRF24J40. Las conexiones se establecen de la misma manera que en el caso del nodo de control.

Fuente de Alimentación: La fuente solamente es empleada para alimentar el Microcontrolador y el transceptor, pues el módulo ADAM garantiza su alimentación directamente desde el propio puerto USB. Teniendo en cuenta estos detalles se decide obtener la tensión de alimentación desde el propio puerto. Para ello se diseña el esquema eléctrico mostrado en la figura 3.14.

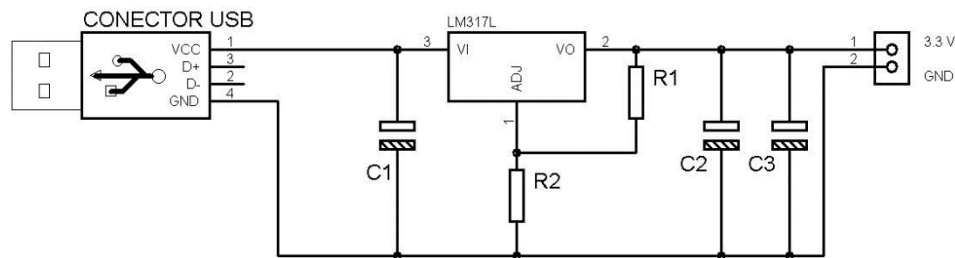


Figura 3.14. Fuente de alimentación para el nodo de supervisión.

Finalmente, en el anexo 10 se muestran algunas imágenes de la implementación de los prototipos de prueba de ambos nodos.

3.1.3. Diseño del firmware. Configuración y programación de los nodos.

Una vez diseñado el hardware y analizados los requerimientos del sistema, se procede a la implementación de los programas o *firmwares* para los nodos de control y supervisión.

Teniendo en cuenta el estándar IEEE 802.15.4, el programa del nodo controlador del sistema de calentamiento corresponde a un RFD, denominado “dispositivo final”, y el programa del nodo de supervisión remoto corresponde a un FFD, denominado “coordinador”. Al brindar dicho estándar la posibilidad de utilizar diferentes tipos de topologías de red, se considera pertinente diseñar una en forma de estrella, con un único coordinador y varios dispositivos finales; de este modo se deja abierta la posibilidad de ampliar la red inalámbrica hacia otros puntos del hotel. Es de destacar que en el sistema propuesto se utiliza solamente un dispositivo final.

3.1.3.1. Controlador. Nodo RFD o Dispositivo Final.

En este tipo de nodo se desarrollan las tareas de control, como se ha mencionado anteriormente. Tomando en consideración que en las redes ZigBee los nodos RFD están diseñados especialmente para no ser sobrecargados con tareas propias del funcionamiento del protocolo inalámbrico, se seleccionó un modo de funcionamiento reducido y se ajustaron las tareas que se pretenden implementar. En la figura 3.15 se muestra de manera simplificada el algoritmo de funcionamiento para este dispositivo.

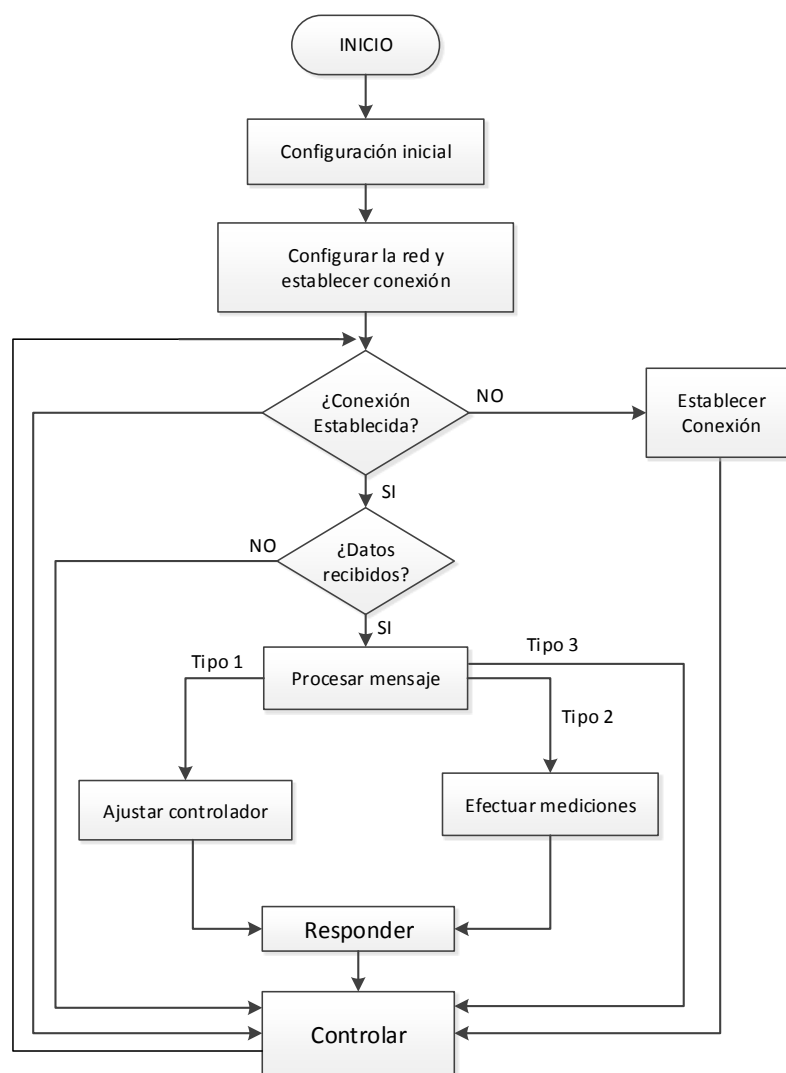


Figura 3.15. Diagrama de Funcionamiento del Nodo RFD (Control).

El dispositivo fue programado para dar tratamiento a diferentes eventos que puedan producirse mientras se configura y activa la red; los mismos se relacionan en el anexo 11.

3.1.3.2. Supervisión. Nodo FFD o Coordinador.

Una vez iniciado el programa la primera tarea que se debe ejecutar corresponde a la configuración y conexión a la red ZigBee, a la transmisión serie y a habilitar las interrupciones. Posteriormente se chequea cíclicamente la existencia o no de datos provenientes del nodo controlador o RFD, para luego enviarlos al programa de supervisión, ver figura 3.16 A.

En cuanto al envío de información del programa de supervisión hacia el PIC, se utilizó la opción de interrupción por recepción que contiene el micro-controlador. El esquema en bloques de la rutina en este “evento” es mostrado en la figura 3.16 B.

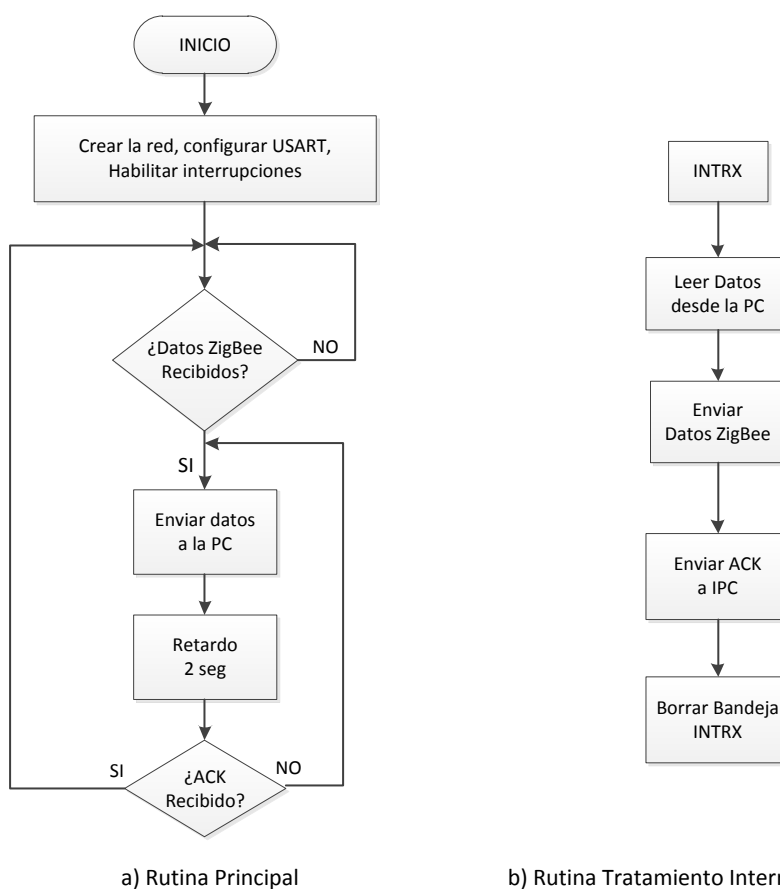


Figura 3.16. Diagrama de funcionamiento del nodo coordinador (Supervisión).

Se utiliza igual configuración que en el nodo coordinador; no obstante en el establecimiento de la red inalámbrica fue preciso tener en cuenta los eventos mostrados en el anexo 12.

3.1.3.3. Configuración de la trama de comunicación.

Según explicación en el capítulo 1, la implementación de ZigBee incluye varias capas que conforman su arquitectura: Capa Física, Capa de Control de Acceso al Medio, Capa de Red y Capa de Aplicación, agregando cada una de ellas algunos paquetes a la trama, no obstante ser esta operación ejecutada por la “pila” de manera transparente para el programador.

En la Capa de Aplicación se implementa el procesamiento de los mensajes enviados y recibidos. En la tabla 3.1 se muestra la trama de datos diseñada para tal propósito.

Tabla 3.1. Trama de datos para la Capa de Aplicación.

Tipo de Reporte	Origen o Destino	Datos (Entrada o Salida)
-----------------	------------------	--------------------------

En el anexo 13 se muestran los comandos utilizados para implementar tres tipos principales de reportes: uno para el sistema de control, otro para el sistema de medición y el tercero para indicar que los datos han sido enviados o recibidos correctamente.

El siguiente ejemplo ilustra la situación en que el nodo de supervisión solicita la lectura del Sensor 1 al nodo de control; la trama que debe ser enviada se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.2. Ejemplo de trama de datos para solicitar la medición del sensor 1.

Tipo de Reporte	Origen o Destino	Datos (Entrada o Salida)
0x2	0x8	0x0

El envío de 0x0 al bloque Datos, es una indicación al nodo de control de que no se tiene en cuenta, puesto que se está solicitando una medición. No obstante, se ha previsto que cuando se detecta un paquete de entrada con los valores 0x8, 0x9, 0xA o 0xB en el campo “*Origen o Destino*”, se descarta cualquier valor recibido en el campo Datos. Cuando la información entrante al nodo controlador se procesa, éste responde al nodo de supervisión mediante la trama mostrada en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Ejemplo de trama de datos respuesta del sensor 1.

Tipo de Reporte	Origen o Destino	Datos (Entrada o Salida)
0x2	0x8	“Medición”

3.1.4. Descripción del sistema de supervisión y control.

Una vez diseñado, implementado y programado el sistema inalámbrico basado en micro-controladores PIC, ver figura 3.17, es necesario la supervisión y el control del mismo.

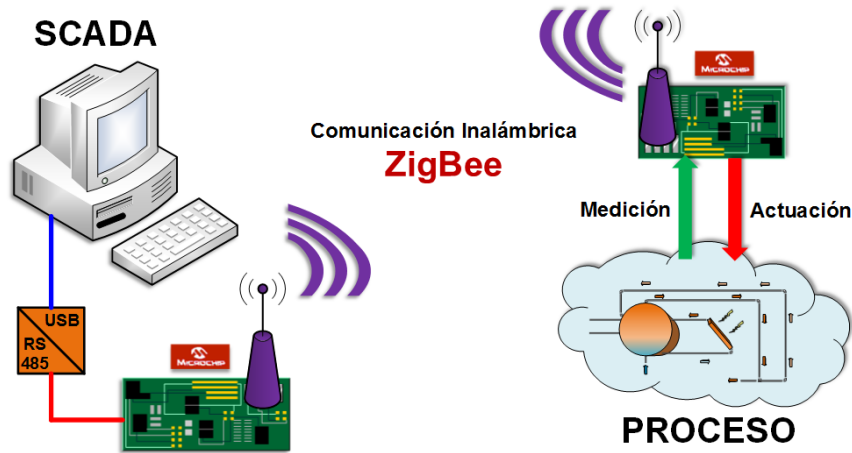


Figura 3.17. Arquitectura del Sistema de Supervisión y Control.

La supervisión y control del sistema de calentamiento de agua se hace a través del nodo de supervisión remoto, pudiéndose utilizar:

- Un sistema de control y adquisición de datos (SCADA) profesional, pero al no existir un protocolo estándar, como Modbus, MPI, PPI, Asi, Unitelway, entre otros, se tienen como posibles soluciones:
 - ✓ Desarrollar o programar un software capaz de comunicarse con el sistema y servir los datos de forma estándar como un servidor OPC, posibilitando la lectura y escritura de las variables de interés por cualquier SCADA profesional.
 - ✓ Implementar dentro del microcontrolador PIC un protocolo estándar como los antes mencionados, de manera que se pueda establecer la comunicación empleando un servidor OPC profesional o directamente un SCADA profesional.
 - ✓ Desarrollar una librería o driver para un servidor OPC existente para permitir la comunicación con el sistema basado en micro-controladores.
- Desarrollo de una interfaz gráfica que posibilite la supervisión (monitoreo) y control del sistema empleando alguna plataforma de programación existente (Cbuilder, Qt, Eclipse, NetBean, LabWindow, LabVIEW, entre otras).

En este trabajo se utilizó el Sistema de Supervisión y Control EROS, el cual se conecta a través de un manejador a un servidor OPC, en este caso el Kepware, que usualmente intercambia información con el controlador mediante un protocolo estándar de comunicación para dispositivos de automatización.

La PC donde se implementa el SCADA se conecta al nodo remoto a través del puerto serie, sin embargo, en este nodo no está implementado ningún protocolo estándar, por lo que se desarrolla un programa que permite la comunicación con el mismo mediante un algoritmo partiendo de la elaboración del diagrama de flujo mostrado en el anexo 14, aprovechando las facilidades que brinda el software de National Instruments “LabWindowsTM/CVITM 9.0” con el manejo de los puertos COM.

Posteriormente el software desarrollado en LabWindows sirve de pasarela entre el nodo remoto y el servidor OPC gracias al protocolo de transferencia de datos “Data Socket”, también de National Instruments, ver figura 3.18.

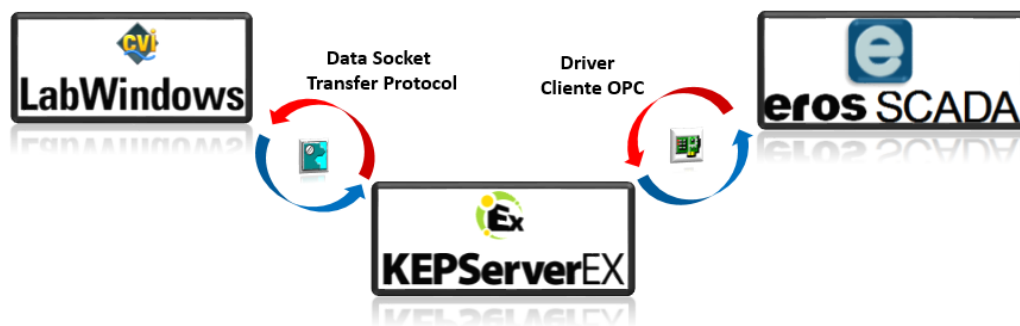


Figura 3.18. Diagrama de comunicación del sistema.

Seguidamente se configura el sistema para permitir al usuario final interactuar con los dispositivos. El sistema debe permitir graficar y visualizar numéricamente las principales variables, así como manipular parámetros de configuración del controlador y gestionar el almacenamiento de la información.

Configuración del EROS.

Una vez instalado el programa EROS se deben tener en cuenta varios pasos para el diseño del HMI, dentro de los cuales se pueden encontrar:

- Configuración de la Estación Local de Operación (ELO), la cual consta de las siguientes pestañas de configuración: generales, seguridad, mando remoto y sonidos. En el caso de la pestaña “seguridad” se configuran los siguientes

usuarios:

- *Administrador*: Para visualizar las mediciones realizadas por el nodo de control.
- *Ingeniero*: Para visualizar las mediciones realizadas por el nodo de control, cambiar la configuración del controlador, seleccionar entre funcionamiento manual y automático y accionar las bombas manualmente.
- *Operador*: Para visualizar las mediciones realizadas por el nodo de control, seleccionar entre funcionamiento manual/automático y accionar las bombas manualmente.
- Selección del manejador para la comunicación: En este trabajo el enlace se realizó a través del manejador “cliente OPC”.
- Declaración de las variables a utilizar: Se declararon un total de 13 variables, como puede observarse a continuación.

Tabla 3.4. Variables configuradas en el EROS – Hotel Las Américas.

Variable	Tipo	Descripción
TempD	Entrada analógica	Temperatura del agua en el tanque acumulador.
TempS	Entrada analógica	Temperatura del agua en el punto de consumo.
TempEC	Entrada analógica	Temperatura del agua a la entrada de los colectores.
TempSC	Entrada analógica	Temperatura del agua a la salida de los colectores.
BomR_I	Entrada discreta	Indicador de encendido de la bomba de recirculación de agua
BomC_I	Entrada discreta	Indicador de encendido de la bomba de los colectores.
dT_ON	Registro analógico	Diferencia de temperatura para el encendido de la bomba de los colectores.
dT_OFF	Registro analógico	Diferencia de temperatura para el apagado de la bomba de los colectores.
Td	Registro analógico	Temperatura deseada
K	Registro analógico	Pérdida de temperatura.
Man/Aut	Salida discreta	Señal de control para el modo de funcionamiento.
BomR	Salida discreta	Señal de control para el encendido de la bomba de recirculación de agua.
BomC	Salida discreta	Señal de control para el encendido de la bomba de los colectores.

- *Diseño de las ventanas que conformaran la interfaz gráfica*: Se diseñan dos ventanas que permiten supervisar el proceso de calentamiento de agua, visualizar de manera numérica y gráfica los valores de temperatura, así como cambiar el modo de funcionamiento, los parámetros del controlador y el accionar sobre las bombas.

Descripción de la interfaz gráfica.

La interfaz gráfica desarrollada en EROS consta esencialmente de dos ventanas que posibilitan realizar, dentro de un entorno amigable, una navegación simple y funciones básicas, como las que se describen a continuación:

Ventana Principal: Esta ventana muestra el mímico del sistema de calentamiento de agua, como se puede ver en la figura 3.19, y permite las siguientes funciones:

- *Navegar* a la ventana de gráfica de tendencias al hacer “clic” sobre el botón Gráficas ubicado en la parte superior derecha.
- *Visualizar* los valores numéricos de las mediciones de temperatura realizadas por el nodo controlador en los diferentes puntos del proceso y además, mostrar si las bombas de recirculación de agua y de los colectores solares se encuentran activas o no, según el color de los iconos marcados con los identificadores II y III.
- *Cambiar* el modo de trabajo del sistema entre manual o automático mediante el botón marcado con el identificador I.
- *Accionar* las bombas de recirculación de agua y de los colectores solares a través de los botones ubicados a la izquierda de los iconos de las mismas, en caso de que el modo de trabajo sea manual.

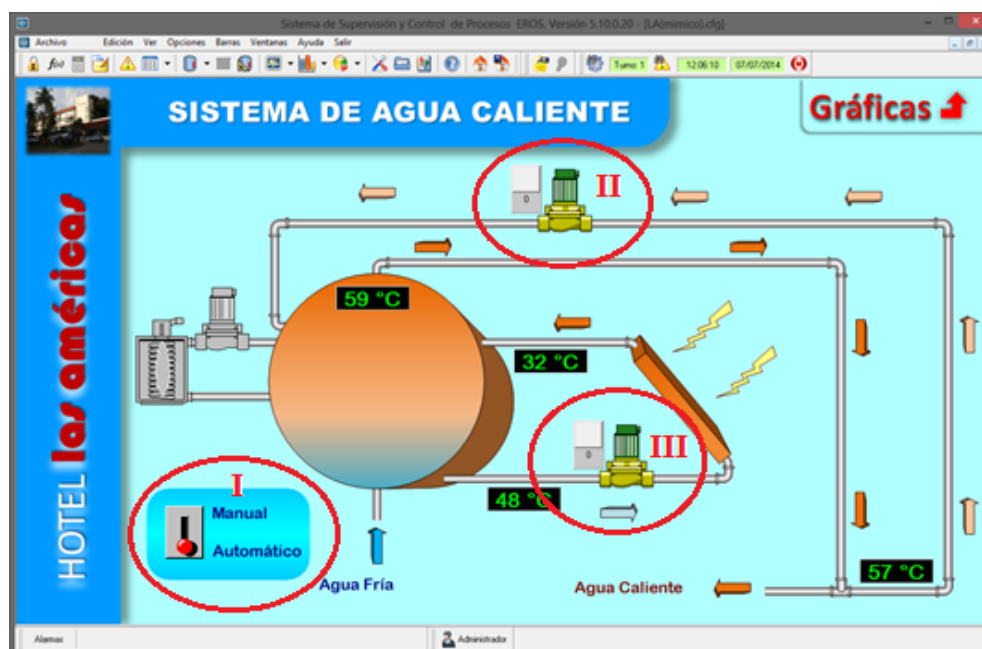


Figura 3.19. Ventana principal del sistema de calentamiento de agua.

Ventana de gráfica de tendencias: Esta ventana muestra una gráfica con las diferentes

temperaturas de interés en el sistema, ver figura 3.20, así como parámetros configurables en el nodo controlador, permitiendo realizar tareas como:

- *Navegar* a la ventana principal al hacer “clic” sobre el botón Mímico ubicado en la parte superior derecha.
- *Visualizar* la tendencia de las diferentes temperaturas medidas por el nodo controlador en los diferentes puntos del proceso.
- *Cambiar* el valor de los gradientes de temperatura necesarios para encender y apagar la bomba de los colectores solares a través de los controles marcados con el identificador I, así como cambiar el valor de temperatura deseada a la entrada de las habitaciones y lograr la compensación necesaria con los controles marcados en el identificador II.

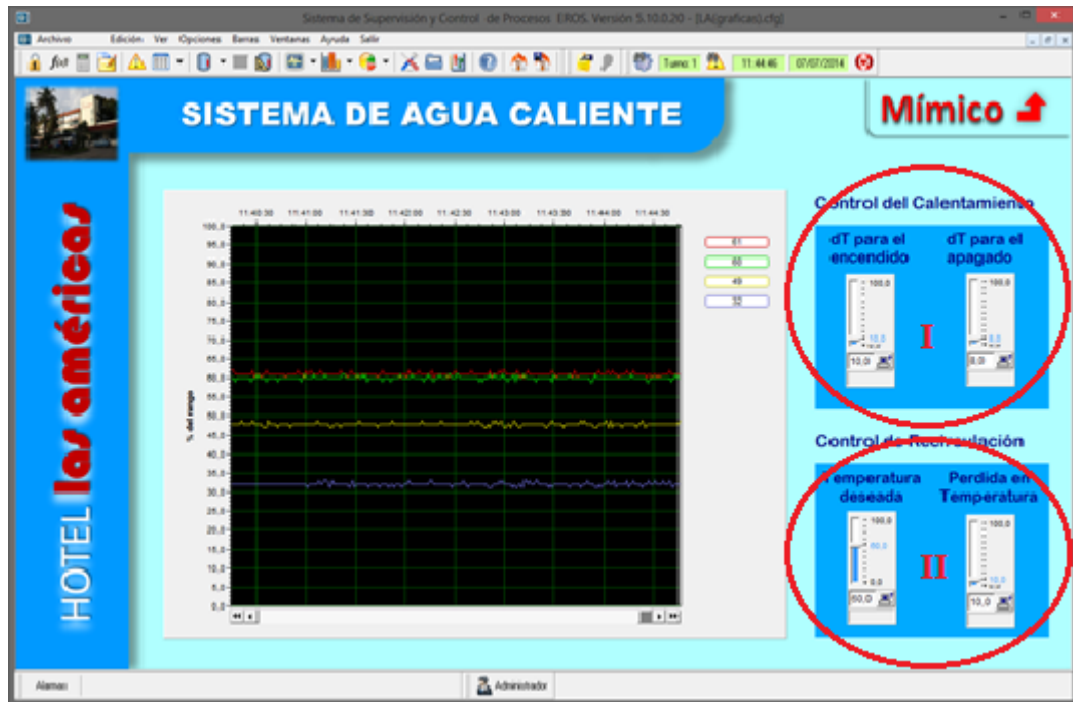


Figura 3.20. Gráficas de tendencia y parámetros para la configuración.

En cualquiera de las dos ventanas se puede observar en la parte inferior izquierda un botón de Alarma, que en este caso puede ser de dos tipos, ver anexo 15:

- ✓ Prohibitivas: cuando las variables alcanzan valores inadmisibles.
- ✓ De operación: cuando las variables exceden los rangos de operación predefinidos.

Almacenamiento de datos.

Para almacenar las mediciones efectuadas se utiliza el software EROSBDSerServer, incluido en el paquete del Sistema de Supervisión y Control de Procesos EROS, que permite exportar a Bases de Datos MS SQL Server las mediciones que se realizan.

EROSBDSerServer se apoya en el concepto de *tarea* para realizar la exportación de las mediciones del EROS a bases de datos SQL Server, estando las *tareas* definidas por las siguientes propiedades:

- Conjunto de variables procedentes de un servidor EROS que se exportan a un servidor MS SQL Server.
- Conexión a una instancia del SCADA EROS que actúa como servidor de mediciones en tiempo real.
- Conexión a un servidor MS SQL Server que actúa como repositorio de mediciones en tiempo real.

Para exportar mediciones se necesita básicamente de tres cosas:

- ✓ Disponer de una conexión con el EROS fuente de los datos. (Crear Conexión con el EROS).
- ✓ Disponer de una conexión con la Base de Datos destino. (Crear Conexión a la Base de Datos).
- ✓ Definir tarea a realizar. (Crear una Tarea de Exportación).

3.2. Hotel Brisas Santa Lucía.

El hotel consta de 4 bloques habitacionales, cada bloque tiene 2 niveles con 52 habitaciones cada uno, por lo que cada bloque cuenta con 104 habitaciones (ver figura 2.12). El objetivo principal de nuestro sistema es la supervisión y monitoreo de dichas habitaciones, dirigido principalmente a aspectos de la seguridad.

El Hotel Brisas Santa Lucía posee diferentes instalaciones y cuenta con servicios que se ofrecen en bloques separados por áreas exteriores; en el diseño del sistema se tuvieron en cuenta dos aspectos fundamentales, ver figura 3.21:

- El sistema basado en módulos con comunicación inalámbrica MiWi dentro de las habitaciones.
- El sistema encargado de concentrar las mediciones mediante la norma RS-485,

en una sala de control ubicada en la carpeta del hotel.

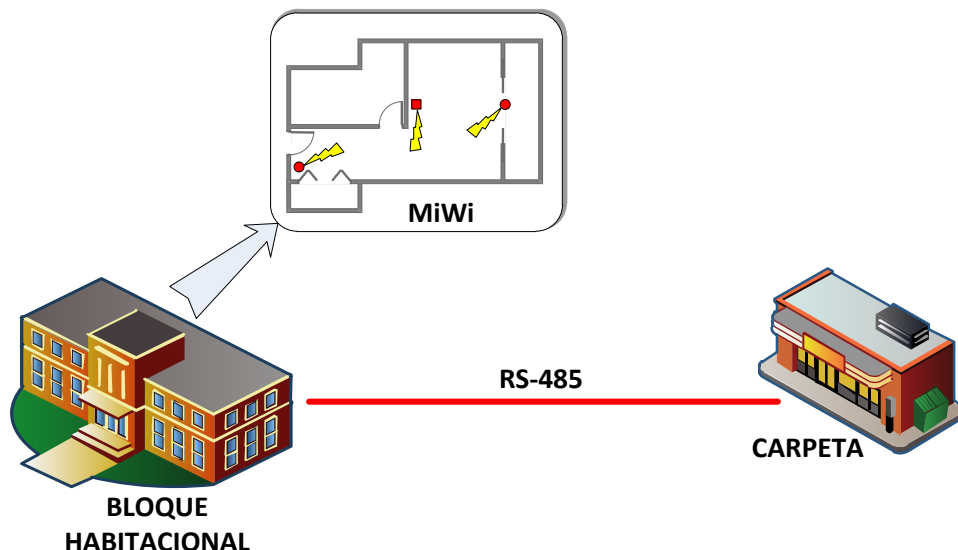


Figura 3.21. Esquema de las tecnologías de comunicación.

Para la ubicación de los dispositivos inalámbricos dentro de las habitaciones se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Instalación adecuada del sistema con el menor costo de montaje posible.
- Aprovechamiento de las ventajas de los sistemas ubicuos para lograr una comunicación eficiente desde cualquier punto de la habitación.
- Facilitación de la visualización y estado del sistema desde la PC sin necesidad de cableado adicional.

Para la ubicación de los dispositivos inalámbricos se implementa una red configurada en estrella de un solo salto, cómo se muestra en la figura 3.22, que permite realizar la comunicación entre los módulos de manera centralizada y organizada, teniendo en cuenta que las informaciones del sistema pueden obtenerse desde el módulo que actúa como coordinador, que es el que organiza y distribuye cada operación dentro de la habitación.

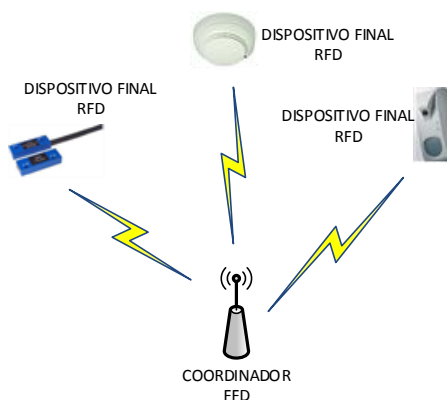


Figura 3.22. Configuración estrella de un solo salto entre los dispositivos.

Los dispositivos se mantienen siempre energizados, independientemente de que la llave de tarjeta esté o no conectada, lo que permite la comunicación entre los ellos de forma inalámbrica. Los detectores de presencia, humo e intrusos son dispositivos finales en comunicación directa con el coordinador.

Cada habitación tiene un total de 9 metros de largo por 6 metros de ancho y dentro de ella se encuentran el pasillo, baño, closet, dormitorio y balcón. La ubicación física de los dispositivos inalámbricos utilizados dentro de la misma se muestra en la figura 3.23.

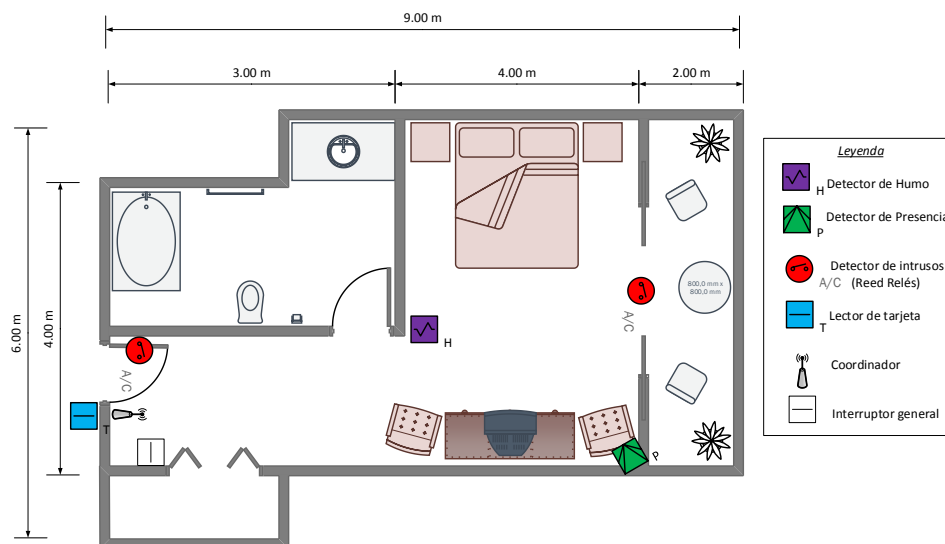


Figura 3.23. Ubicación física de los sensores dentro de las habitaciones.

Selección de sensores: Al seleccionar los sensores se tuvo en consideración su compatibilidad con el bus I2C, cuya principal característica es que utiliza dos líneas para

transmitir la información: una para los datos y otra para la señal de reloj.

3.2.1. Diseño del hardware para el sistema de supervisión.

Al utilizarse en el diseño propuesto el protocolo de comunicación inalámbrica MiWi dentro de cada habitación e integrarse al sistema de supervisión a través de una red Modbus, se procede a la implementación de las arquitecturas del nodo local y del nodo remoto.

3.2.1.1. Arquitectura del nodo local.

La arquitectura del nodo local está formada por un total de 4 módulos comunicados inalámbricamente. Dichos módulos se componen de un micro-controlador PIC 24FJ32GA002, un transceptor y uno de los detectores o sensores anteriormente mencionados.

En la figura 3.24 se muestra el esquema en bloque de los módulos que se encuentran dentro de las habitaciones.

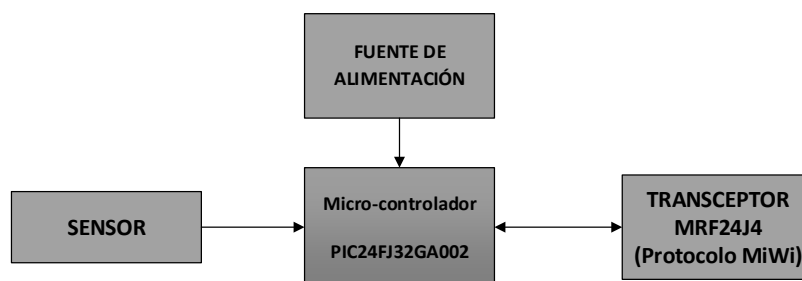


Figura 3.24. Esquema en bloques de los módulos dentro de las habitaciones.

A continuación se brinda una explicación de cada bloque que conforma el nodo local:

PIC 24FJ32GA002: La figura 3.25 muestra el micro-controlador utilizado y la distribución de pines. La arquitectura del micro-controlador PIC 24FJ32GA002 está formada por:

- Memoria FLASH de programa (32 Kbytes).
- Memoria SRAM Interna (8 Kbytes).
- Puertos de E/S (A, B).
- Total de pines de E/S (21)

- Puerto paralelo esclavo.

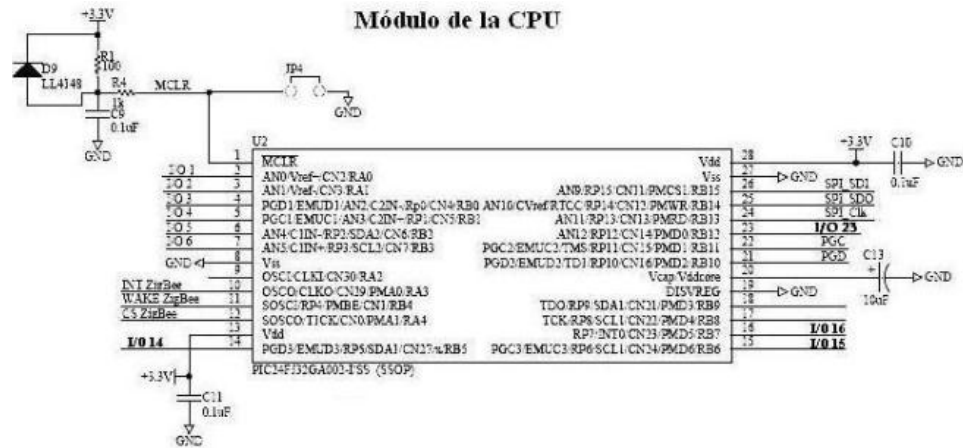


Figura 3.25. Micro-controlador PIC 24FJ32GA002 y su distribución de pines.

Sensores: En el caso de los detectores de presencia y de humo la conexión con el micro-controlador se realiza empleando el bus I2C, y en el caso de los Reed Relés de los módulos para detección de intrusos se emplea el pin 3 del puerto B del micro-controlador. Además, en el caso específico del módulo que se encuentra en la puerta de entrada a la habitación existe un adaptador de nivel con el objetivo de que se pueda conectar al nodo remoto.

Comunicación Serie: La comunicación serie se implementa mediante el circuito integrado MAX3232, el que funciona básicamente como un adaptador de niveles de tensión.

Transceptor MiWi: Para el bloque de comunicación inalámbrica se ha utilizado la tarjeta de radio frecuencia MRF24J40, la cual se muestra en la figura 3.10, compatible con todos los dispositivos de la norma IEEE 802.15.4. Dicha tarjeta intercambia información con el micro-controlador mediante el protocolo SPI. El esquema eléctrico utilizado se muestra en el anexo 6.

Fuente de Alimentación: La fuente transforma y regula el voltaje de alimentación; la entrada oscila entre 100 y 250 V, 50/60 Hz y 0.5 A y la salida entre 5 y 3.3 V y 1 A. La figura 3.26 representa el circuito de la fuente de alimentación que tiene dos reguladores de voltaje LP2985, calculados para 5 y 3.3 V, con el objetivo de energizar los diferentes módulos utilizados. De esa manera el microprocesador se alimenta con 5 V, pero la antenna MRF24J40 y el circuito de la referencia reciben 3.3 V.

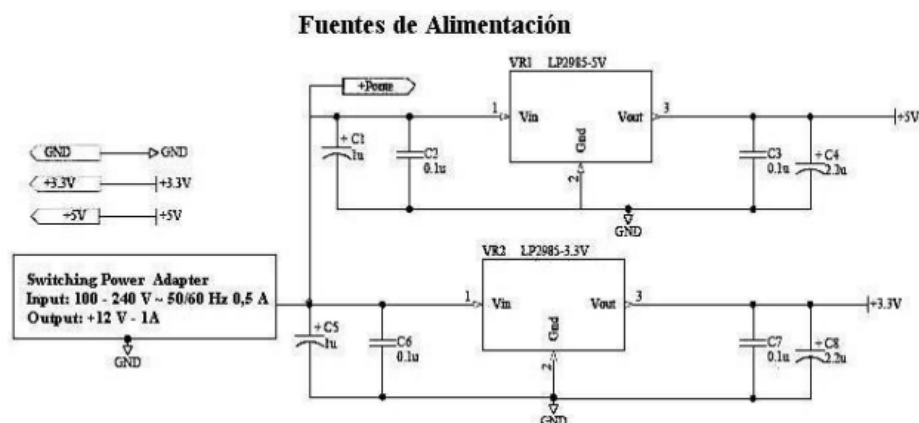


Figura 3.26. Circuito de la fuente de alimentación.

3.2.1.2. Arquitectura del nodo remoto.

Para la concentración de las mediciones se opta por el protocolo de comunicación Modbus sobre una red RS-485. Modbus es un protocolo de diálogo que crea una estructura jerárquica, con un dispositivo maestro y varios dispositivos esclavos. Un ejemplo de ello se muestra en la figura 3.27, donde un enlace de múltiples derivaciones efectúa la conexión entre el maestro y los esclavos [8].

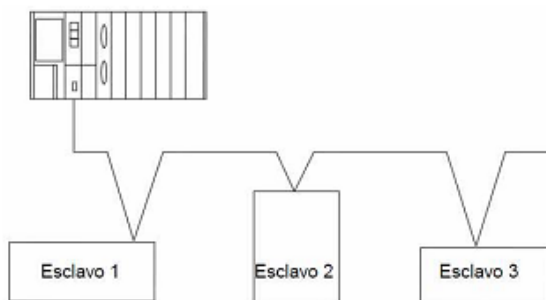


Figura 3.27. Comunicación entre el dispositivo maestro y los dispositivos esclavos.

Existen dos tipos de diálogos posibles entre los dispositivos maestros y esclavos [25]:

- El dispositivo maestro se comunica con el dispositivo esclavo y espera una respuesta.
- El dispositivo maestro se comunica con todos los dispositivos esclavos y no espera ninguna respuesta (difusión de mensaje).

En el caso del Hotel Brisas Santa Lucía se concibió una red con tipología estrella basada en el bus RS-485 y empleando los siguientes módulos: el ICP DAS I-1710 como repetidor, el I-7514U como concentrador y el I-7520 como pasarela de la norma RS-232

a Rs-485. Las características técnicas más importantes de estos módulos se encuentran recogidas en el anexo 16.

En la figura 3.28 se muestra el diseño de la red con tipología estrella basada en el bus RS-485 y empleando los módulos ICP DAS utilizada en el Hotel Brisas Santa Lucía.

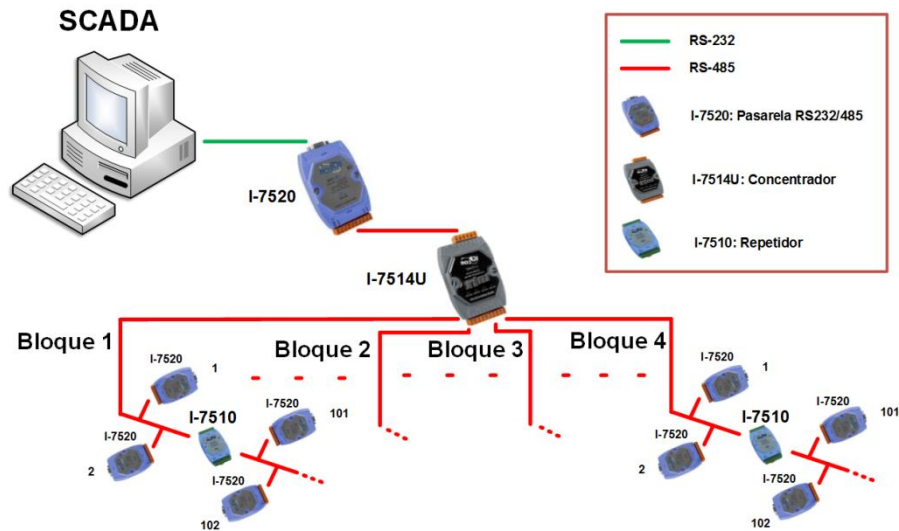


Figura 3.28. Red de comunicación con tipología estrella basada en el bus RS-485.

3.2.2. Diseño del firmware. Configuración y programación de los nodos.

Una vez analizados los requerimientos del sistema, se procedió a la implementación del *firmware* teniendo en cuenta el diseño de un programa para el nodo que ejecuta las tareas de control y de otro programa para el nodo que brinda la posibilidad de desarrollar las tareas de supervisión.

Teniendo en cuenta los dispositivos inalámbricos utilizados dentro de las habitaciones y al estándar IEEE 802.15.4, el programa del nodo coordinador corresponde a un FFD, ya que se encarga de leer la información que le envían los dispositivos de los nodos remotos, RFD o dispositivos finales, los que gestionan la supervisión de los diferentes parámetros.

3.2.2.1. Coordinador o Nodo FFD.

Este nodo coordinador juega un papel fundamental en el sistema propuesto, ya que actúa como pasarela o gateway entre la red inalámbrica implementada dentro de la

habitación y la red RS-485 desplegada en el sistema, con el objetivo de concentrar las mediciones en la PC de supervisión.

Al inicio del programa se crea la red inalámbrica MiWi, se ejecuta la configuración y se habilitan las interrupciones. Posteriormente se chequea cíclicamente la existencia de los datos provenientes de los dispositivos finales o RFD; este ciclo de programa de muestra en la figura 3.29.

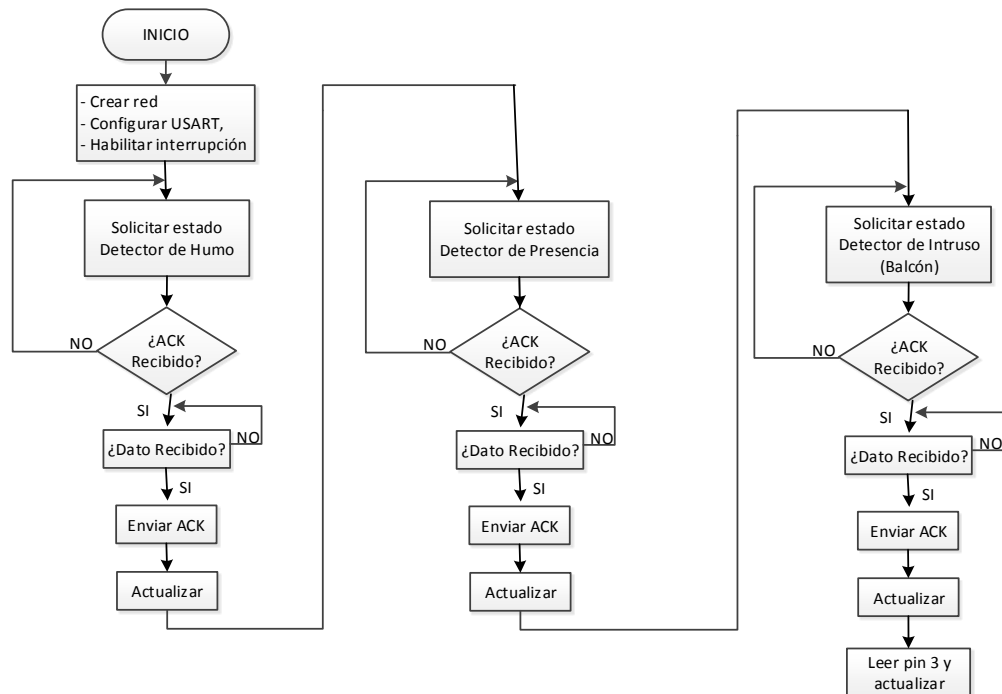


Figura 3.29. Diagrama de funcionamiento del nodo coordinador.

La opción de interrupción por recepción incluida en el micro-controlador puede ser utilizada en el envío de información del programa de supervisión hacia el PIC. El esquema en bloques de este evento se muestra en la figura 3.30.

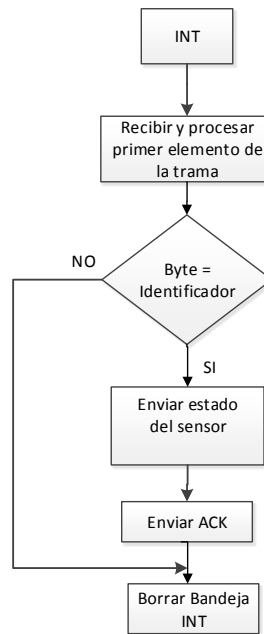


Figura 3.30. Rutina para la interrupción.

Entre las principales funciones que debe garantizar este nodo se encuentran:

- Encuestar cada cierto tiempo a todos los nodos RFD de la habitación, de manera que puedan mantener actualizados en su memoria interna los valores de las variables monitorizadas.
- Atender a la interrupción de escritura en el puerto serie en caso de recibir un mensaje con la identificación requerida.

En la segunda función se implementan solamente mensajes de tipo lectura de un registro de entrada, ya que los nodos RFD sólo envían el estado de los sensores a los asociados.

3.2.2.2. Dispositivo final o Nodo RFD.

En este nodo se desarrollan las tareas de supervisión. En la figura 3.31 se muestra el algoritmo de funcionamiento del dispositivo, configurando las tareas a implementar de manera que en las redes MiWi los nodos RFD no estén sobrecargados con tareas propias del funcionamiento del protocolo inalámbrico.

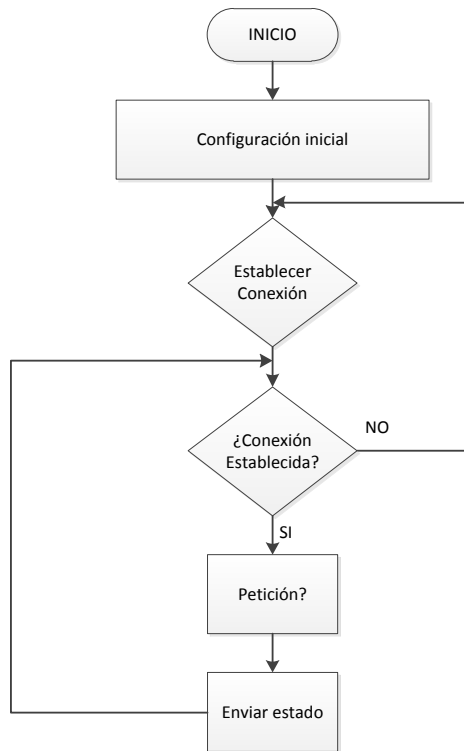


Figura 3.31. Diagrama de Funcionamiento del Nodo Controlador o RFD.

3.2.2.3. Configuración de la trama de comunicación.

Para realizar las funciones que se desean implementar dentro de cada habitación es necesario que los dispositivos interactúen conformando un modo de trabajo en que la comunicación entre ellos sea de suma importancia, por tanto se deben tener en cuenta los siguientes 2 requisitos:

- a) Los parámetros de comunicación
 - Tipos de mensajes
 - Tipos de datos
 - Formato de datos
 - Tamaño de datos
- b) El protocolo de comunicación

a) Parámetros de comunicación.

En la tabla 3.5 se representan los parámetros de mayor importancia para la comunicación mutua entre los dispositivos, los cuales se han agrupado según disponibilidad de su funcionamiento.

Tabla 3.5. Parámetros en la comunicación mutua entre los dispositivos.

	Tipo de mensaje	Tipo de Dato	Formato del Dato	Tamaño
Sensor de puerta principal	Envía=> Controlador	Entero_int	Numérico	Puede ser 1 bit ó 1 byte.
	Recibe<= ACK del Controlador	Booleano	Alfanumérico	1 byte
Sensor del balcón	Envía=> Controlador	Entero_int	Numérico	Puede ser 1 bit ó 1 byte.
	Recibe<= ACK del Controlador	Booleano	Alfanumérico	1 byte
Detector de presencia	Envía=> Controlador	Entero_int	Numérico	Puede ser 1 bit ó 1 byte.
	Recibe<= ACK del Controlador	Booleano	Alfanumérico	1 byte
Detector de humo	Envía=> Controlador	Entero_int	Numérico	Puede ser 1 bit ó 1 byte.
	Recibe<= ACK del Controlador	Booleano	Alfanumérico	1 byte
Coordinador	Envía=> Diagnóstico de estado	Caracteres	Numérico ó alfanumérico	Varios bytes.
	Recibe<= presencia + puerta+balcón+humo	Entero_int	Numérico	4 bytes.

b) Protocolo de comunicación.

El protocolo MiWi tiene una configuración de tramas específicas para garantizar el enrutamiento de los paquetes de información en las redes inalámbrica, es decir, se comienza con el encabezado (header) que tiene 11 bytes, y a partir de ahí continúan las tramas con el tipo de reporte, identificadores comunes y específicos, así como, por último, el tamaño del dato con su acción característica, ver anexo 17.

3.2.3. Descripción del sistema de supervisión.

La figura 3.32 muestra la arquitectura utilizada en el sistema de supervisión, donde se diseña, implementa y programa el sistema inalámbrico basado en micro-controladores PIC dentro de las habitaciones, utilizando tecnología MiWi y la red RS-485, con el objetivo de reunir la información de los 4 bloques habitacionales mediante el protocolo Modbus.

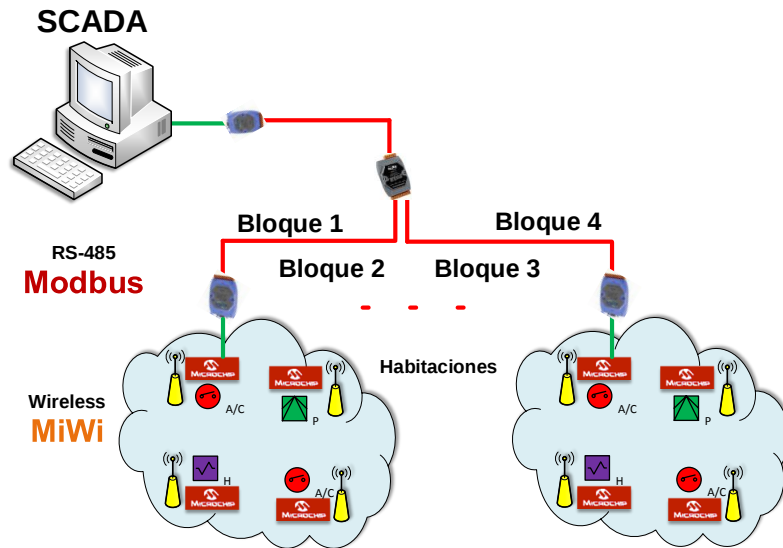


Figura 3.32. Arquitectura del Sistema de Supervisión.

La supervisión y monitoreo de las habitaciones se puede hacer a través de un sistema de control y adquisición de datos (SCADA) profesional; en este caso el Sistema de Supervisión y Control EROS, el cual se conecta a través de un manejador a un bus RS-485 por el que usualmente se intercambia información con el controlador mediante un protocolo estándar de comunicación para dispositivos de automatización, como es el Modbus.

La PC donde se implementa el SCADA se conecta a un convertidor de norma RS-232/RS-485 y luego a un concentrador ICP DAS I-7514U que permite cuadruplicar la capacidad estándar de dispositivos conectados a este tipo de red. Posteriormente, en cada habitación se vuelve a convertir a la norma RS-232 para llegar al módulo RFD, que se encarga de reunir la información dentro de la habitación y servir como esclavo a la red Modbus.

Configuración del EROS.

Para el diseño del HMI utilizando el EROS se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- *Configuración de la Estación Local de Operación (ELO)*, consta de las siguientes pestañas de configuración: generales, seguridad, mando remoto y sonidos. En el caso de la pestaña seguridad, se configuraron los usuarios Gerencia, Carpeta y Mantenimiento; ya que los mismos pueden visualizar el estado de los sensores e identificar y localizar eventos concernientes a la seguridad del Hotel.

- *Selección del manejador para la comunicación:* Se realiza el enlace a través del manejador “Modbus”.
- *Declaración de las variables a utilizar:* Se declaran 4 variables por habitación, según se observa en la tabla 3.6, contando con un total de 1664 variables en los 4 bloques habitacionales.

Tabla 3.6. Variables configuradas en el EROS – Hotel Brisas Santa Lucía.

Variable	Tipo	Descripción
Humo	Discreta	Señal del sensor ubicado en el interior de la habitación que detecta la presencia de humo en el aire.
IntrusoP	Discreta	Señal del sensor ubicado en la puerta principal que detecta que ha existido un cambio de estado.
IntrusoB	Discreta	Señal del sensor ubicado en la puerta del balcón que detecta que ha existido un cambio de estado.
Presencia	Discreta	Señal del sensor ubicado en el interior de la habitación que detecta presencia en la misma.

Para facilitar la configuración del SCADA, al nombre de cada variable se le agrega el identificador de la habitación, el que al inicio incluye el bloque a la que pertenece. Por ejemplo, la variable HumoB310 corresponde al sensor de humo de la habitación B310, o sea, la habitación10 del bloque 3.

- *Diseño de las ventanas que conforman la interfaz gráfica:* Se diseñan varias ventanas que permitan, de manera simple, la interacción con operador o supervisor e identificar posibles eventos relativos a la seguridad de las habitaciones.

Descripción de la interfaz gráfica.

La interfaz gráfica desarrollada en EROS consta esencialmente de una ventana principal y otros dos tipos de ventanas que permitan realizar, en un entorno amigable, una navegación simple y funciones básicas, como las que se describen a continuación:

Ventana Principal: Esta ventana es única y posee un mímico de la distribución de los 4 bloques habitacionales, según se observa en la figura 3.33, y permite:

- *Navegar* a las ventanas que visualizan el plano de planta simplificado según el bloque seleccionado al hacer “clic” sobre la región marcada con los identificadores I.
- *Visualizar* dentro de las regiones antes mencionadas el total de habitaciones reservadas e iconos animados que representan la ocurrencia de algún evento atípico. Por ejemplo, en la figura se muestra que el total de habitaciones

reservadas del bloque 1 se encuentra dentro del identificador II y en el número III se visualizan los iconos animados, de los cuales existen dos tipos: uno para cuando se activa el detector de humo y otro para cuando se violenta o irrumpe en una habitación por cualquiera de sus vías de acceso.

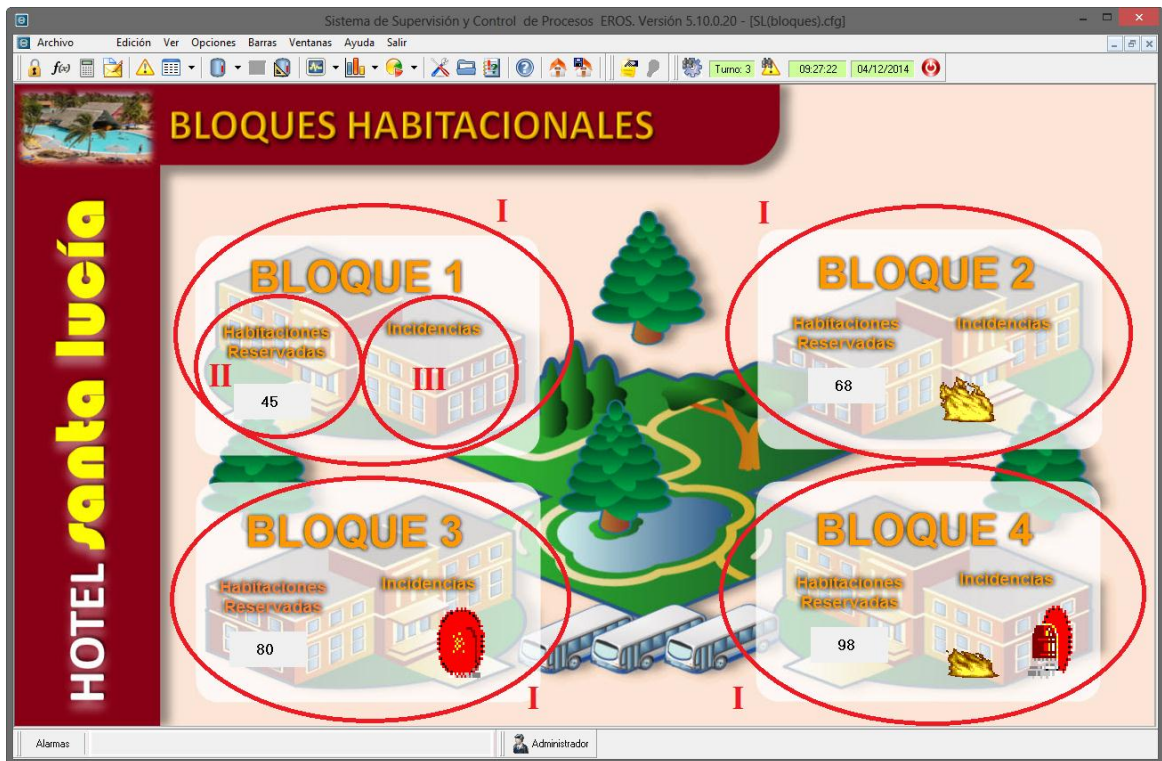


Figura 3.33. Ventana principal - cuatro bloques habitacionales.

Ventana de planos de plantas: Existen 4 ventanas con el plano de planta simplificado, uno por cada bloque habitacional, según se muestra en la figura 3.34, que cumplen las siguientes funciones:

- *Navegar* hacia la ventana principal haciendo “clic” en el botón Bloques, en la esquina superior derecha.
- *Visualizar* los dos niveles de un bloque habitacional específico, observándose el estado de cada una de las habitaciones de acuerdo a un código de colores preestablecido y, de esa manera, identificar rápidamente cualquier evento atípico:
 - Blanco: Habitación no reservada.
 - Verde: Habitación reservada.
 - Amarillo: Detección de humo en la habitación.
 - Azul: Presencia dentro de la habitación no reservada.

- Rojo: Violación de los medios de acceso.



Figura 3.34. Ventana del primer bloque habitacional.

Ventanas de planos de habitación: Representan una habitación específica, según se muestra en la figura 3.35, y dentro de sus posibilidades se encuentran:

- *Navegar* hacia la ventana principal o hacia las demás ventanas de planos de planta de los restantes bloques habitacionales haciendo “clic” en el botón correspondiente a la esquina superior derecha.
- *Visualizar* el estado de los sensores en una habitación específica mediante la animación de iconos representativos de los sensores instalados, permitiendo además, en el caso de los detectores de intrusos, identificar la vía de acceso.



Figura 3.35. Ventana del estado de los sensores dentro de una habitación.

En todas las ventanas aparece en la parte inferior izquierda un botón de alarma, que es de tipo prohibitiva en este caso, la que se activará al cambiar de estado cualquiera de los sensores instalados dentro de las habitaciones no reservadas.

Conclusiones parciales:

- El diseño e implementación de los prototipos de hardware: Nodo Controlador y Nodo de Supervisión Remota, así como de los *firmwares* de ambos nodos en el Hotel Las Américas se realizó utilizando el protocolo de comunicación Zigbee.
- El Sistema de Supervisión y Control EROS se utilizó para visualizar las mediciones de temperatura, el estado de las bombas de agua y los controles para encender y apagar las mismas en el sistema de calentamiento de agua.
- El estudio de las características del Hotel Brisas Santa Lucía permitió definir los sensores a utilizar y su ubicación dentro de las habitaciones.
- El análisis realizado en el Hotel Brisas Santa Lucía posibilitó el diseño e implementación del hardware y el *firmwares* del Nodo Local y del Nodo Remoto.
- El diseño del sistema de supervisión se realizó utilizando la tecnología inalámbrica MiWi dentro de cada habitación e integrando dicha tecnología al sistema supervisorio a través de una red Modbus. Para la supervisión se utilizó el software EROS.

CONCLUSIONES GENERALES

- La caracterización teórica e histórica de los sistemas de supervisión y control permitió demostrar su contribución e importancia en el aumento del confort y seguridad, así como en la disminución de los portadores energéticos en instalaciones hoteleras.
- Las ventajas, características y clasificación de las redes inalámbricas de comunicación posibilitaron la selección del protocolo ZigBee para ser utilizado en el Hotel Las Américas y el MiWi para el Hotel Brisas Santa Lucía.
- El estudio de la descripción del flujo tecnológico del sistema de calentamiento de agua en el Hotel Las Américas permitió diagnosticar el estado actual de su automatización y proponer una nueva estrategia de control mediante la regulación por diferencia de temperatura en los dos subsistemas analizados y la manipulación de las bombas de agua en base a cuatro sensores de temperatura.
- El diseño e implementación del hardware y el *firmware* del Nodo Controlador y del Nodo de Supervisión Remoto se realizó en el Hotel Las Américas utilizando Zigbee como protocolo de comunicación, y se implementó, además, el sistema de supervisión y control del proceso de calentamiento de agua con la posibilidad de visualización de las mediciones de temperatura y el estado de las bombas.
- La caracterización de los bloques habitacionales del Hotel Brisas Santa Lucía demostró que los mayores gastos energéticos son producidos por los sistemas de climatización e iluminación.
- La implementación del sistema con cerradura electrónica permitió simplificar la gestión del hotel, incrementar la seguridad en los bloques habitacionales y contribuir a la disminución de los portadores energéticos.
- El estudio de las características del Hotel Brisas Santa Lucía posibilitó definir los sensores a utilizar, así como su ubicación dentro de las habitaciones.
- El diseño e implementación del hardware y el *firmware* del Nodo Local y del Nodo Remoto se realizó en el Hotel Brisas Santa Lucía utilizando la tecnología inalámbrica MiWi en el sistema de supervisión dentro de cada habitación, el cual se integró al supervisorio mediante una red Modbus.
- Las ventajas del EROS conllevaron a su utilización en la implementación de los sistemas de supervisión y control en ambas instalaciones hoteleras.

RECOMENDACIONES

- Aumentar el alcance de los enlaces inalámbricos para incluir otras áreas en los sistemas de supervisión y control.
- Analizar la influencia de los parámetros ambientales en la pérdida de paquetes de datos enviados de manera inalámbrica utilizando el protocolo ZigBee en el Hotel Las Américas.
- Integrar el sistema hidráulico del Hotel Brisas Santa Lucía a los detectores de humo existentes dentro de las habitaciones para aumentar la efectividad de los mismos.
- Realizar el estudio para implementar el protocolo MiWi en otros sistemas que tienen influencia en el consumo eléctrico del Hotel Brisas Santa Lucía.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aho, A.; Sethi, R.; and Ullman, J. Compilers: Principles, Techniques and Tools. Editorial: Addison-Wesley, 2da: Ed., ISBN-13: 978-0321547989, 2007.
2. Benítez, I.; Ávila, E.; and González, R.: “Modelado sobre Redes de Petri Estocásticas Generalizadas para el análisis de desempeño de redes de comunicaciones”. VI Simposio de Telecomunicaciones, Convención Internacional Informática 2013. Ciudad Habana. 19 al 21 de Marzo 2013.
3. Carballar, José A. Wi-Fi: Cómo construir una red inalámbrica. Librería y Editorial Microinformática. Madrid, España. 2004.
4. Chacón, R. Simulación SCADA (Control, supervisión y adquisición de datos) de una planta generadora de energía eléctrica a base de energía geotérmica. Tesis para optar por el título de Ingeniero Electricista. Universidad de El Salvador. 2012.
5. Compañía Matrikon OPC. ¿Qué es un servidor OPC?. Barcelona, España. Disponible en World Wide Web: <<http://www.matrikonopc.es/opc-servidor/index.aspx>. 2012.
6. De Armas, JC. Sistema de supervisión y control para las instalaciones del GERA. Trabajo de Diploma. 2012.
7. Deza, E. Estudio de Aplicaciones de Redes de Comunicaciones Inalámbricas Ad-Hoc para Sistemas a bordo de Automóviles. Tesis de Grado. Universidad Politécnica de Cataluña, España. 2007
8. ECURED, Protocolo de comunicación Modbus. [http://www.ecured.cu/index.php/Protocolo de Comunicaci%C3%B3n Modbus](http://www.ecured.cu/index.php/Protocolo%20de%20Comunicaci%C3%B3n%20Modbus). 2012.
9. Fadruga, A. Diseño de algoritmo para la distribución dinámica de canales en redes malladas inalámbricas. Tesis de Diploma, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana. 2012.
10. Flowers, D.; and Yang, Y. AN1066 Microchip MiWi™ Wireless Networking Protocol Stack, Microchip Technology Inc, 2010.
11. Gomáriz, D.; Matas, J.; and Reyes, M. Microcontroladores MCS-51 y MCS-251 [recurso electrónico]. Editor Madrid: UPC, 2001.
12. Grupo de Desarrollo. “Sistema de Supervisión y Control de Procesos EROS”. Grupo Eros Serconi, Nicaro ISMM, Moa. 2005.
13. ICP Corporation. <http://www.icpdas.com/>. Consultado el 15 de febrero de 2012.
14. INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE, pp. 312320. 2007.

15. Jones, I. Design and Implementation of the SNMP Agents for Remote Monitoring and Control via UML and Petri Nets. IEEE transactions on control systems technology, vol. 12, no. 2, 2004.
16. Kim, H.; Gu, Q.; Yu, M.; Zang, W.; and Liu, P. A simulation framework for performance analysis of multi-interface and multi-channel wireless networks in INET/OMNET++, in Proceedings of the Spring Simulation Multiconference, Orlando, Florida, pp. 101:1101:8. 2010.
17. Köbel, Ch.; Baluja, W.; and Habermann, J. (2012). Selective Link Cost Alteration in Reservation-Based Multi-Hop Wireless Mesh Networks, in ICN 2012: The Eleventh International Conference on Networks, IARIA, pp. 153-158. 2012.
18. Köbel, Ch.; Baluja, W.; and, Habermann, J. Sistema de balance de carga para redes malladas inalámbricas multi-interfaces. RIELAC, Vol. 33 3/2012 ISSN: 1815-5928. 2012.
19. Laoudias, C.; and, Psychalinos, C. Filtro complejo con espejos de corriente de baja tensión Bluetooth/ZigBee. Circuitos Sistemas (ISCAS), pp.1268-1271. 2010.
20. Lay-Ekuakille, A. Electronic instrumentation for measurements: fundamental architectures and circuits. Editorial: CRC Press. ISBN: 9781439871492. 2013.
21. Meza, L. SCADA SYSTEM'S & TELEMETRY. Atlantic International University Mexico, City. 13 de Octubre de 2007.
22. Nagy, A et al. Integration aspects of wireless industrial automation, 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, pp. 2998-3003. 2011.
23. Palanisamy, S.; Kumar, S.; and Narayanan, J.L. Secured wireless Communication for industrial automation and control, Electronics Computer Technology (ICECT), 3rd International Conference on, Vol: 5, pp. 168-171. 2011.
24. Piedrafita, M. "Ingeniería de la Automatización Industrial". Editorial RA-MA. Madrid. 1999.
25. Pérez, F.; Valdés, S.; and Arias de Fuentes, O. Sistema de Adquisición de Datos con comunicación inalámbrica. RIELAC, Vol. XXXIV 3/2013 p.63-73 Septiembre-Diciembre ISSN: 1815-5928. 2013.
26. Pérez, M.; Álvarez, J.; and Campo, J. Instrumentación Electrónica. Editorial THOMSON, ISBN: 8497321669, 2004.
27. Poggi-Varaldo, H et al. Tecnologías Solar-Eólica-Hidrógeno-Pila de Combustible como fuente de energía. 1era Edición. ISBN 978-607-95065-0-6. 2009.
28. Prasad, R. Reseña de las Comunicaciones Personales Inalámbricas Perspectivas de Microondas, IEEE Communications Magazín, Volumen 9, Páginas 104-108. 1997.

29. Ramírez, M. Controlador Lógico Programable basado en hardware reconfigurable. Tesis en opción al título de Máster en Ciencias. Universidad de Ciencias Informáticas. 2011.
30. Roebuck, K. WiMAX 802.16e: High-impact Technology - What You Need to Know: Definitions, Adoptions, Impact, Benefits, Maturity, Vendors. Published by: Emereo Publishing on Nov 02, 2012. ISBN: 9781743045879. 2012.
31. Roldán, D. Comunicaciones Inalámbricas. ISBN 978-847-89762-1-8. 2004.
32. Romero, C.; Vázquez, F.; and De Castro, C. Domótica e Inmótica. Edificios Inteligentes. Editorial RA-MA. Madrid, 2005.
33. Sanz, M. Las Redes de Petri como herramienta formal en el diseño de sistemas de automatización integrada. Tesis en opción al título de Máster en Ciencias. Universidad de Oriente. 2013.
34. Stallings, W. Wireless Communications and Networks, 2nd Edition, Prentice Hall. 2005.
35. Sheth, A.; Nedeveschi, S.; Patra, R.; Surana, S.; Brewer, E.; and Subramanian, L. Packet loss characterization in WiFi-based long distance networks. 2007.
36. Sobh, T.; and Elleithy, K. Emerging trends in computing, informatics, systems sciences, and engineering. Editorial: Springer. ISBN: 9781461435570. 2012.
37. Soyer, L. Wi-Fi, instalar una red inalámbrica en casa. Ediciones ENI. ISBN: 2-7460-2829-9. 2005.
38. Thomas, F. Dispositivos Electrónicos. Editorial: Pearson Prentice Hall. ISBN 9789702611936. 2008.
39. Valenciano, L. Sistema de automatización basado en control de eventos discretos para la etapa de empaquetado de la fábrica de producción de bloques de hormigón Poyatos. Tesis en opción al título de Máster en Ciencias. Universidad de Oriente. 2012.
40. Vega, E. Redes de Computadores. Trabajo de Diploma. Escuela de Ingeniería Mecatrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Trujillo. Perú. 2011.
41. Wenbiao, H. Component and Agent-Based FMS Modeling and Controller Synthesis. IEEE and Mohsen A. Jafari, Member, IEEE: 2003.
42. Zapata, G.; Cardillo, J.; and Chacón, E. Aportes Metodológicos para el Diseño de Sistemas de Supervisión de Procesos Continuos. Información Tecnológica Vol. 22 N°3-2011, pág. 97-114. ISSN 0718-0764. 2011.
43. ZigBee: Becoming the Wireless Standard for Tomorrow's Smart Grid. AHR Expo-Dallas (2013).

ANEXOS

Anexo 1. Ejemplos de instalaciones que utilizan el EROS fuera y dentro del país.

Entidad	Organismo	Ubicación
Planta Secaderos ECRRL. Nicaro	MINBAS	Holguín
Planta Hornos de Reducción ECRRL	MINBAS	Holguín
Planta Lixiviación y Lavado ECRRL	MINBAS	Holguín
Hornos de Calcinación ECRRL. Nicaro	MINBAS	Holguín
Planta de Sínter ECRRL. Nicaro	MINBAS	Holguín
Planta de Recuperación de NH ₃ ECRRL	MINBAS	Holguín
Centro de Investigación de la Laterita. Moa	MINBAS	Holguín
Centro de Investigación de la Laterita. Nicaro	MINBAS	Holguín
Refinería de Petróleo "Hermanos Díaz"	MINBAS	Stgo. de Cuba
Fábrica de Cemento. Nuevitas.	MINBAS	Camagüey
Hotel Ancón. Cayo Coco.	MINTUR	Ciego de Ávila
Central Azucarero DACAL. Arasatuba.		Sao Paulo, Brasil
Central Azucarero Pioneiros. Arasatuba.		Sao Paulo, Brasil
Central Azucarero Destivale. Arasatuba.		Sao Paulo, Brasil

Anexo 2. Datos técnicos del Lector/contenedor de tarjetas PTI/U 1.1.

Nombre del componente	Lector/contenedor de tarjetas
Lectura de la llave	Tecnología sin contactos: transponder RF – la llave se debe insertar adecuadamente en la ranura.
Distancia de lectura	Mínimo 1.5 cm - Máximo 4 cm
Dimensiones	Cajas de pared de 3 módulos
Color	Negro - Accesorios de conexión Elos ABB
Tensión de alimentación	10-32 VCC, 12-24 VCA
Consumo	Alimentación externa: picos de 3W - Desde el bus: 10 mA.
Programación y comunicación	Dos modos: Mediante bus Konnex: el componente opera también durante los fallos del bus con su propia fuente de alimentación. Independiente (sin bus): programación con llaves especiales.
Salidas de relés	2 relés biestables de 8A y 250V - independientes y programables con el bus. Modo de función: normal ó iluminación de automático de escalera. Temporización ON/OFF y retardos programados. Accionado a través del bus y/o asociable a eventos unidos a la validación de llaves (Cliente y/o Servicio).
Entradas digitales	3 entradas independientes y no aisladas ópticamente programables a través del bus. Programas: 3 ON/OFF ó 2 comando de persiana + 1 ON/OFF.
Interfaces de usuarios	4 leds asociados con el modo de función y/o programables
Estrategia de convalidación de llave	Es posible utilizar: Estrategia lista blanca - Local (no se requiere comunicación del bus) Estrategia lista negra - Local (no se requiere comunicación del bus)
Tipos de llaves manipuladas	Llave de cliente (asociada al relé A, relé B ó ambos). Llave de servicio (asociada al relé A, relé B ó ambos). Llave maestra
Número de llave reconocible para cada lector	16 millones en lista blanca local Infinito en lista negra local en cada modo centralizado
Rango de temperatura	Operación: -5...+50 °C, almacenado y transporte: -55 + 125 °C
Dimensiones de la carcasa	74x44x56 mm
Peso	100 g

Anexo 2. (Cont.). Ventanas de configuración de los componentes para las funcionalidades del control de acceso.

Progettazione ETS2 - Vista degli edifici [TUX1-MAC2 ENG]

Progetto Modifica Progettazione Imposta Vista Finestra Guida

Apri Nuovo Dispos. Funzioni Gruppi Topol. Catalogo Filtro Controllo Salva Guida Esce

Vista degli edifici [TUX1-MAC2 ENG]

Edificio Parte di edificio Locale Dispos. Soluzione ☒ Mostra oggetti

TUX1-MAC2 ENG

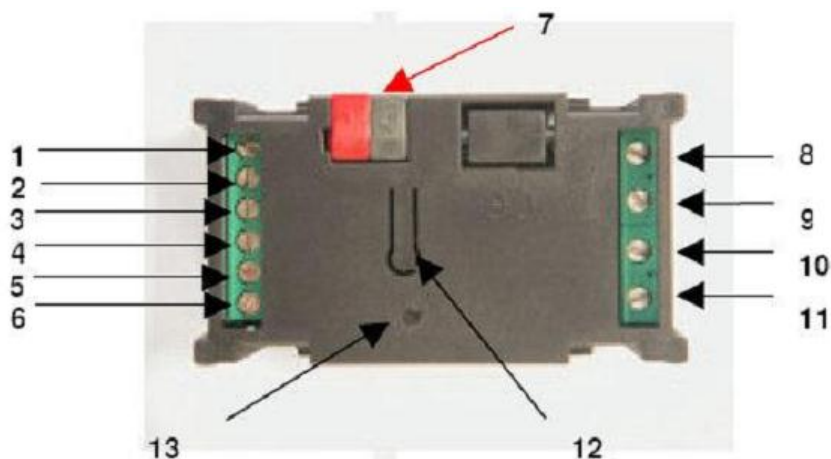
Ind. fis.	Descrizione	Prodotto	Numero d'ordine	Programma	Produttore	Locale	Linea	Funzione		
no.	Indirizzi di gruppo	Funzione	Nome oggetto	TIPO	Priorità	C	L	S	T	A
01.01.003	LTPAU 1.1	ABB Access Control Sy... All products MA...	ABB Access Contr...	ABB						Linea 1
0		Switch	Output A	1 Bit	Basso	✓	✓	✓		
1		Switch	Output B	1 Bit	Basso	✓	✓	✓		
2		Teleg. Switch	Input A	1 Bit	Basso	✓	✓	✓	✓	
3		Teleg. Switch	Input B	1 Bit	Basso	✓	✓	✓	✓	
4		Teleg. Switch	Input C	1 Bit	Basso	✓	✓	✓	✓	
5		Teleg. Status	Output A	1 Bit	Basso	✓	✓	✓		
6		Teleg. Status	Output B	1 Bit	Basso	✓	✓	✓		
7		ACC1 Management	ACC1	1 Byte	Basso	✓	✓	✓	✓	
8		ACC14 Management	ACC 14 byte	14 Byte	Basso	✓	✓	✓	✓	
9		Date Teleg.	Date	3 Byte	Basso	✓	✓	✓		
10		Time Teleg.	Time	3 Byte	Basso	✓	✓	✓		
11		Yellow LED 3 bi - ON/OFF	Yellow LED 3 bi - ON/OFF	1 Bit	Basso	✓	✓	✓		
12		Red LED 3 bi - ON/OFF	Red LED 3 bi - ON/OFF	1 Bit	Basso	✓	✓	✓		
13		Red LED 4 bi - ON/OFF	Red LED 4 bi - ON/OFF	1 Bit	Basso	✓	✓	✓		
14		Green LED 4 bi - ON/OFF	Green LED 4 bi - ON/OFF	1 Bit	Basso	✓	✓	✓		
15		Yellow LED 2 mo - ON/OFF	Yellow LED 2 mo - ON/OFF	1 Bit	Basso	✓	✓	✓		
16		Green LED 1 mo - ON/OFF	Green LED 1 mo - ON/OFF	1 Bit	Basso	✓	✓	✓		

Anexo 2. (Cont.). Parámetros para los relés A y B en modo normal o persiana.

The screenshot shows a software window titled "Modifica parametri" with a tabbed interface. The "Output A" tab is selected. The window contains several configuration parameters, each with a corresponding input field or dropdown menu. The parameters are:

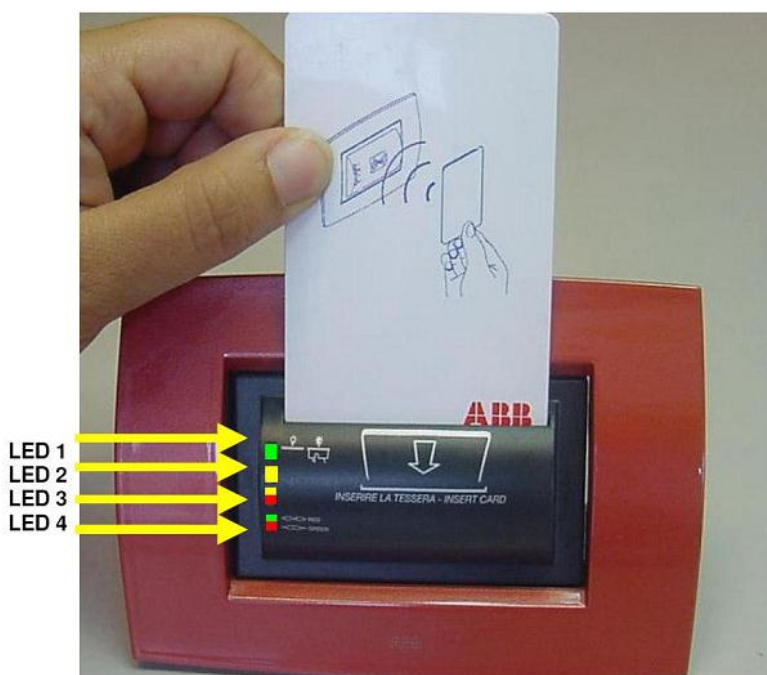
- Contact type:** A dropdown menu showing "Normally open contact".
- Operation mode:** A dropdown menu showing "Normally open contact", with "Normally closed contact" also visible in the list.
- Time base for staircase lighting:** A dropdown menu showing "130 ms".
- Faktor staircase lighting (1...127):** A numeric input field showing "5".
- Preset position on power supply recovery:** A dropdown menu showing "Contact unchanged".
- Preset position on power supply failure:** A dropdown menu showing "Contact unchanged".
- Transponder type:** A dropdown menu showing "No Tag".

At the bottom of the window, there are six buttons: "OK", "Annulla", "Standard", "Informazioni", "Lim. -> Compl.", and "Guida".

Anexo 2. (Cont.). Conexión de los diferentes componentes.

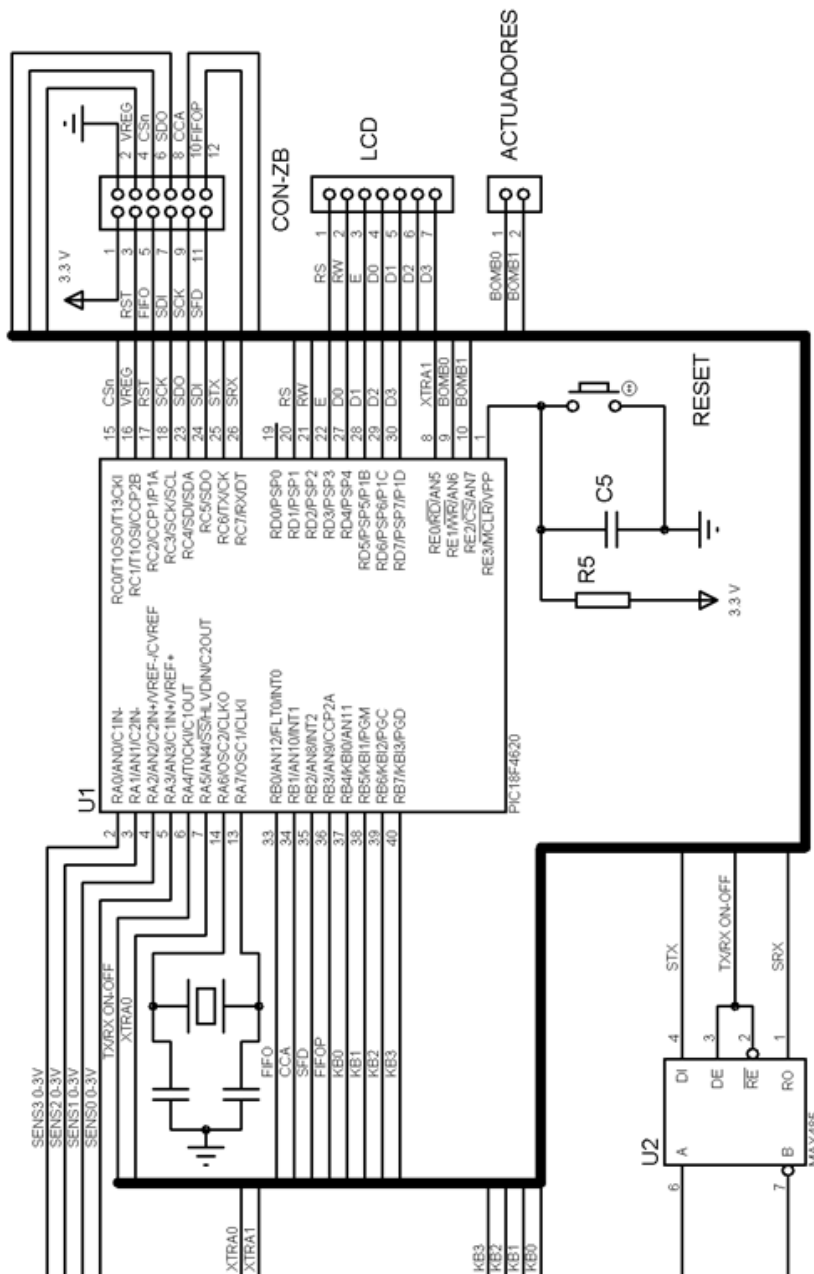
1-2	Tensión de alimentación 10...32 VCC ó 12...24 VCA (ALIM)
3	Entrada Digital A
4	Entrada Digital B
5	Entrada Digital C
6	5 VCC común a las entradas (COM)
7	Conexión ABB i-bus EIB/KNX
8-9	Relé B Salida
10-11	Relé A Salida
12	Pulsador para asignar la dirección física
13	Led rojo para asignar la dirección física

Anexo 2. (Cont.). Significación de los leds.

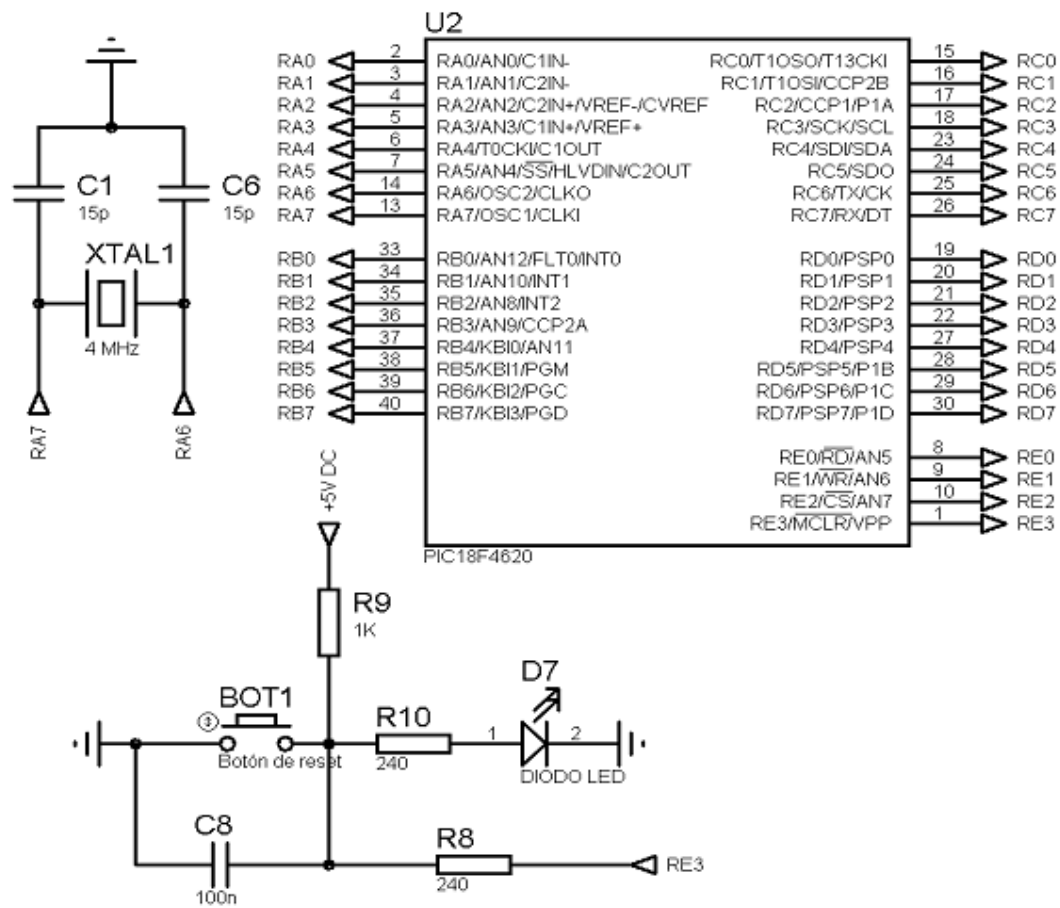


LED 1	COLOR VERDE SENCILLO	1 Pulso cada 5 segundo: Componente esperando a reconocer la llave. Encendido fijo: Activación de cargas para la llave válida actual en el titular de la llave o con led, actualizar el estado de 2 habitaciones con la llave maestra.
LED 2	COLOR AMARILLO SENCILLO	Pulso de 1 segundo: Actualizar estado de la habitación con la llave maestra. Encendido fijo: Programación con la llave maestra.
LED 3	AMARILLO/ROJO BICOLOR	Programación libre de los componentes.
LED 4	VERDE/ROJO BICOLOR	Verde fijo: Tensión del bus presente. Rojo fijo: Fallo de la tensión del bus. Naranja fijo: Condición anormal de la tensión de alimentación o reinicio del componente requerido.

Anexo 3: Esquema eléctrico general del Módulo Local. Hotel Las Américas.

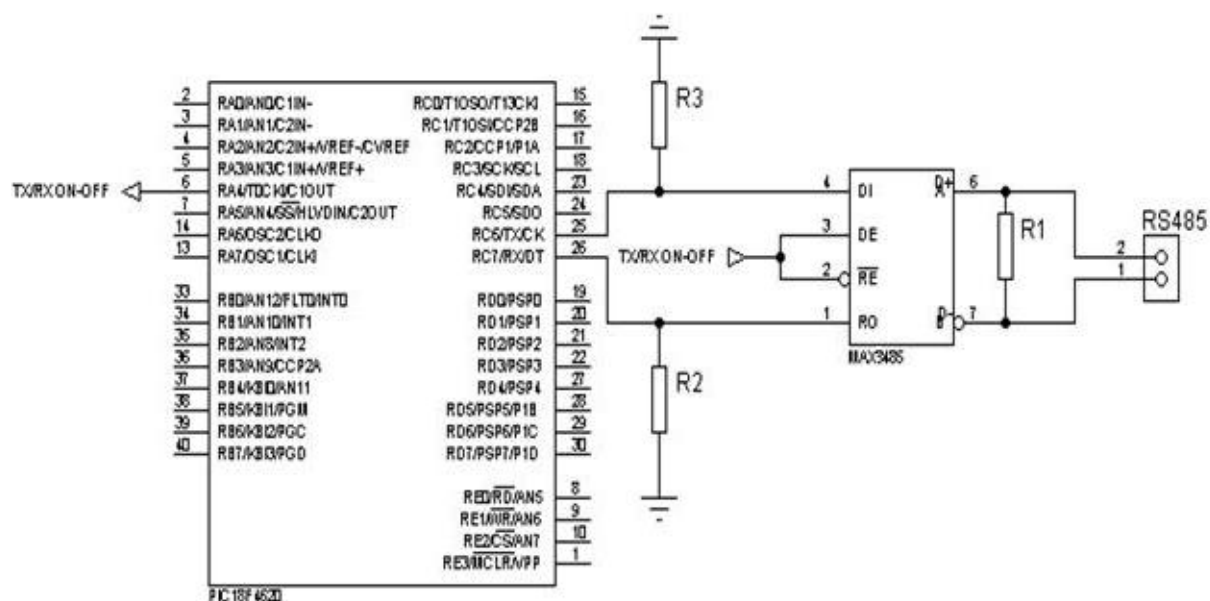


Anexo 4: Esquema eléctrico del PIC 18F4620:

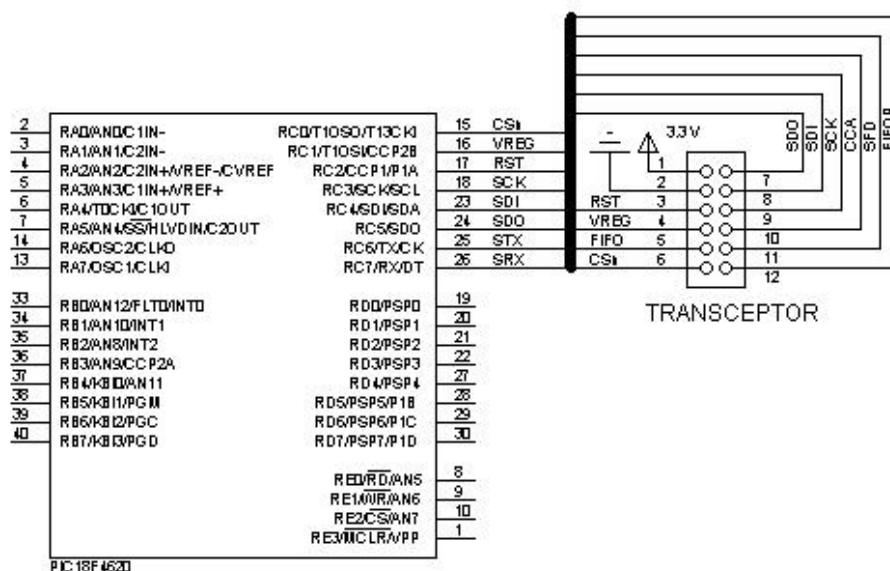


Anexo 5. Esquema eléctrico para la comunicación con el Nodo controlador mediante RS-485.

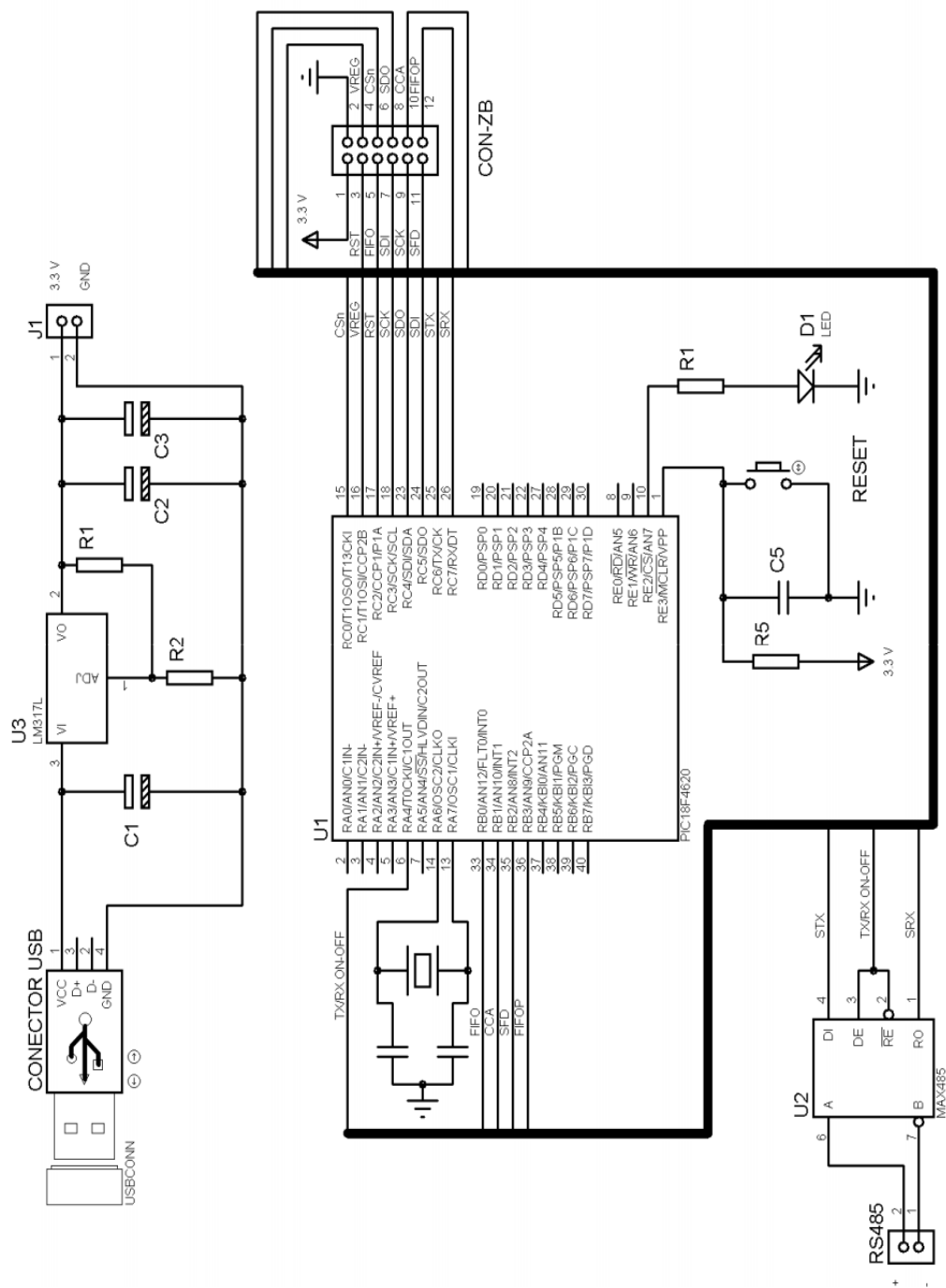
En este esquema se incluyen dos resistencias “pull-down” (R2 y R3) opcionales para eliminar ruidos en la transmisión y una resistencia terminadora R1. El bloque es alimentado a 3.3 V.



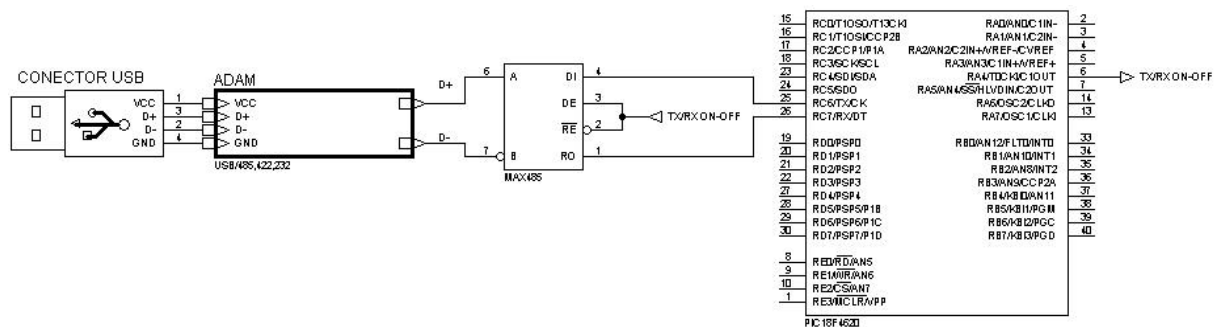
Anexo 6. Diagrama de conexión entre la tarjeta de RF y el micro-controlador PIC.



Anexo 7. Esquema Eléctrico del Módulo Remoto.



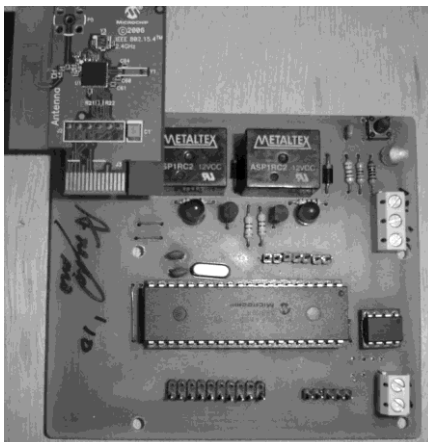
Anexo 8. Diagrama de conexión para la comunicación con una PC mediante puerto USB.



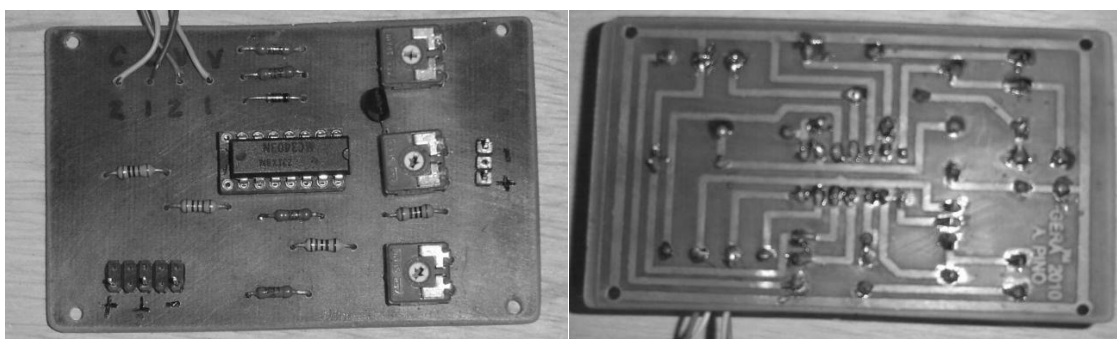
Anexo 9. Especificaciones del módulo ADAM-4561.

- Consumo de Potencia: 1.5W, 24VDC
- Comunicación Serie: Interfaz Serie 1, USB Tipo B y Tipo A
- Velocidad: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 bps
- Dimensiones: 70 x 122 x 30
- Montaje: Carril DIN 35
- Alimentación: 10 a 30 VDC
- Humedad: 5 - 95% RH
- Temperatura Operación: -10 a 70 °C

Anexo 10. Imágenes de la implementación del prototipo de pruebas.



a) Módulo RFD (Control Local).



b) Acondicionador de Señal para la Termo-resistencia.

Anexo 11. Eventos que se pueden producir mientras se configura y activa la red del Nodo FFD o Coordinador.

NLME_NETWORK_FORMATION_confirm: Una vez activada esta bandera por la plataforma, el programa envía al UART la información de que se ha creado correctamente la red y a continuación se hace la solicitud para la inclusión como miembro de su propia red.

NLME_PERMIT_JOINING_confirm: Esta bandera indica que el pedido de unirse a su propia red ha sido confirmado, luego el programa envía esta información al UART.

NLME_JOIN_indication: Este evento indica que un nodo se ha unido a la red. Seguidamente se envía al UART el ID del nodo en cuestión.

NLME_LEAVE_indication: Este evento indica que algún miembro de la red ha perdido la conexión, a continuación se envía al UART una cadena de texto indicando si fue el coordinador o algún otro nodo.

NLME_RESET_confirm: Indica que la pila o plataforma se ha reiniciado, luego se envía el correspondiente mensaje al UART.

APSDE_DATA_confirm: Esta bandera indica que se ha enviado correctamente el mensaje. Se envía al UART un mensaje indicando la ocurrencia de este evento.

APSDE_DATA_indication: Esta bandera indica al programa que ha llegado un paquete de datos desde el receptor; entonces se ejecuta la rutina para leer el paquete de datos entrante, y finalmente se envía esta información a la PC mediante el UART.

NO_PRIMITIVE: En este caso el programa detecta que no hay ninguna tarea de la plataforma por procesar, entonces se procede a la creación de la red; en este caso se configuran algunos parámetros como el identificador de la red o ID y los canales en la que ésta operará.

Anexo 12. Eventos que se pueden producir mientras se configura el RDF.

NLME_NETWORK_DISCOVERY_confirm: Esta bandera es utilizada para indicar que se ha detectado un dispositivo remoto, por lo que una vez activado el programa se ejecutan las tareas para comenzar la formación de la red.

NLME_JOIN_confirm: La plataforma activa esta bandera en caso de que el dispositivo detectado sea un coordinador de red y se haya podido establecer la conexión. A continuación se procede a enviar una notificación al nodo de supervisión por cada acción de control que se ejecute. En caso contrario, las notificaciones se suspenden.

NLME_LEAVE_indication: Si la plataforma activa esta bandera, significa que el nodo de supervisión se ha desconectado. Entonces el programa indica la ocurrencia de este evento mediante el encendido de un LED y se suspenden las notificaciones anteriormente referidas.

APSDE_DATA_indication: Si esta bandera es verdadera entonces se procede a la recepción de la información proveniente del módulo remoto, mediante la cual se le hacen solicitudes al controlador, como son: cambiar entre automático o manual, efectuar mediciones, encender o apagar las bombas, cambiar los parámetros del controlador, entre otras.

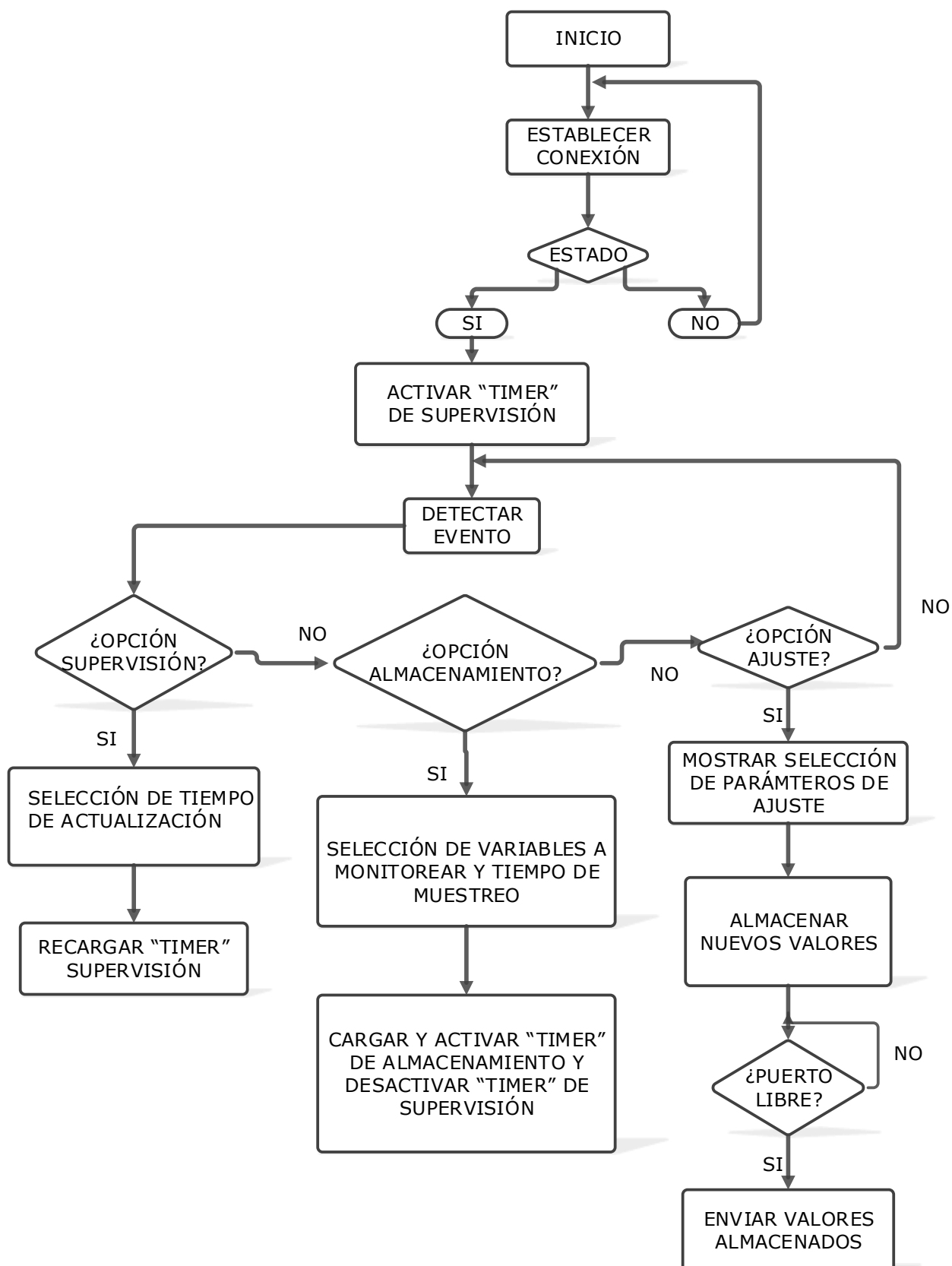
APSDE_DATA_confirm: En caso de que esta bandera se encuentre activa, se comienzan a enviar los datos almacenados en cola de salida.

NO_PRIMITIVE: Si la plataforma no activa ninguna de las banderas anteriores, entonces se ejecutan las funciones de medición y control. La primera función hace uso de las rutinas del compilador C18 para configurar el convertidor analógico digital y efectuar las mediciones que serán utilizadas por la función controlador.

Anexo 13: Comandos utilizados para implementar los tres tipos principales de reportes: sistema de control, sistema de medición y el que indica al sistema que los datos se han enviado o recibido correctamente.

Nombre	Valor Hexadecimal	Descripción
Tipo de Reporte		
Tipo 1	0x1	Reporte del Sistema de Control
Tipo 2	0x2	Reporte del Sistema de Medición
Tipo 3	0x3	Reporte de Comprobación (ACK)
Origen o Destino		
Aut/Manual	0x4	Cambiar estado del Sistema
Bomba 1	0x5	Cambiar estado de Bomba 1
Bomba 2	0x6	Cambiar estado de Bomba 2
Caldera	0x7	Leer Estado de la Caldera
Sensor 1	0x8	Leer Sensor
Sensor 2	0x9	Leer Sensor
Sensor 3	0xA	Leer Sensor
Sensor 4	0xB	Leer Sensor
ΔT on	0xC	Ajuste automático para encendido Bomba 1
ΔT off	0xD	Ajuste automático para Apagado Bomba 1
T recirculación	0xE	Ajuste controlador para Bomba 2
T pérdidas	0xF	Ajuste controlador para Bomba 2
Datos		
On	0x1	Aplicable a Automático/Manual, Bomba1 y 2
Off	0x2	Aplicable a Automático/Manual, Bomba1 y 2
Dato General	XXX	Lectura de información, Ej. Sensores, Estado de las Bombas y Ajustes del Controlador.

Anexo 14. Diagrama de funcionamiento del Software de supervisión. Hotel Las Américas.



Anexo 15. Reportes de las alarmas implementadas en el EROS.

Sistema de Supervisión y Control de Procesos EROS. Versión 5.10.0.20 - [Reporte de Alarmas]

Opciones Barras Ventanas Ayuda Salir

☒ Todas Asociadas a la Variable:
 ☐ Prohibitivas
 ☐ Por Debajo
 ☐ Off
 ☐ Por Encima
 ☐ On
 ☐ Operación
 ☐ Por Debajo
 ☐ Off
 ☐ Por Encima
 ☐ On
 ☐ Razón Cambio

Etiqueta	Valor	Tipo de Alarma	F.Inicio	H.Inicio	H.Fin	F. Fin	H. Reconocida
30- TempD	0,00	< Rango Prohibitivo	09/07/2014	08:25:10			
29- TempD	0,00	< Rango Prohibitivo	09/07/2014	08:25:10	08:25:10	09/07/2014	
28- TempD	0,00	< Rango Prohibitivo	09/07/2014	08:14:35	08:25:08	09/07/2014	
27- TempD	0,00	< Rango Prohibitivo	09/07/2014	08:14:35	08:25:08	09/07/2014	
26- TempD	0,00	< Rango Prohibitivo	08/07/2014	21:05:46	08:25:08	09/07/2014	
25- TempD	0,00	< Rango Prohibitivo	08/07/2014	21:05:45	08:25:08	09/07/2014	
24- TempD	0,00	< Rango Prohibitivo	08/07/2014	19:34:17	08:25:08	09/07/2014	
23- TempD	0,00	< Rango Prohibitivo	08/07/2014	19:34:15	08:25:08	09/07/2014	
22- TempD	67,00	> Rango Operación	08/07/2014	10:23:08	08:25:08	09/07/2014	
21- TempD	67,00	> Rango Operación	08/07/2014	10:23:06	08:25:08	09/07/2014	
20- TempD	40,00	< Rango Operación	08/07/2014	10:21:37	08:25:08	09/07/2014	
19- TempD	39,00	< Rango Prohibitivo	08/07/2014	10:21:27	08:25:08	09/07/2014	
18- TempD	43,00	< Rango Operación	08/07/2014	10:21:26	08:25:08	09/07/2014	
17- TempD	66,00	> Rango Operación	08/07/2014	10:20:50	08:25:08	09/07/2014	
16- TempD	66,00	> Rango Operación	08/07/2014	10:20:39	08:25:08	09/07/2014	
15- TempD	69,00	> Rango Operación	08/07/2014	10:20:28	08:25:08	09/07/2014	
14- TempD	71,00	> Rango Prohibitivo	08/07/2014	10:16:12	08:25:08	09/07/2014	
13- TempD	68,00	> Rango Operación	08/07/2014	10:16:11	08:25:08	09/07/2014	
12- TempD	66,00	> Rango Operación	08/07/2014	10:16:04	08:25:08	09/07/2014	
11- TempD	40,00	< Rango Operación	08/07/2014	10:15:02	08:25:08	09/07/2014	
10- TempD	39,00	< Rango Prohibitivo	08/07/2014	10:14:57	08:25:08	09/07/2014	
9- TempD	44,00	< Rango Operación	08/07/2014	10:14:53	08:25:08	09/07/2014	
8- TempD	69,00	> Rango Operación	08/07/2014	10:14:30	08:25:08	09/07/2014	
7- TempD	72,00	> Rango Prohibitivo	08/07/2014	10:14:29	08:25:08	09/07/2014	
6- TempD	70,00	> Rango Operación	08/07/2014	10:14:28	08:25:08	09/07/2014	
5- TempD	71,00	> Rango Prohibitivo	08/07/2014	10:14:20	08:25:08	09/07/2014	
4- TempD	66,00	> Rango Operación	08/07/2014	10:14:13	08:25:08	09/07/2014	
3- TempD	0,00	< Rango Prohibitivo	08/07/2014	10:13:39	08:25:08	09/07/2014	
2- TempD	70,00	> Rango Operación	08/07/2014	10:13:19	08:25:08	09/07/2014	
1- TempD	66,00	> Rango Prohibitivo	08/07/2014	10:07:38	08:25:10	09/07/2014	10:10:37

Filtradas: 30 Cantidad Total: 30

Alarmas TempD 0,00 °C < Rango Prohibitivo 08:25:10

Administrador

Anexo 16. Características técnicas más importantes de los módulos ICP DAS utilizados en el Hotel Brisas Santa Lucía.

Módulo ICP DAS I-1710: Es un repetidor de alta velocidad compatible con diversos sistemas operativos y entre sus principales características están: utiliza a la entrada y a la salida el conversor de norma RS-485/422, tiene una velocidad de transmisión de 300 ~ 115200 bps y consume como máximo 2.2 W.



Módulo repetidor ICP DAS I-1710.

Módulo ICP DAS I-7514U: Es un concentrador de 4 canales independientes que utilizan la norma RS-485, donde cada canal de salida presenta su manejador o driver. Entre sus múltiples características se encuentran: temperatura de trabajo entre -25 to 75°C, posee 6 LED que indican el estado del tráfico de datos de la red, tiene una velocidad de transmisión de 1200 ~ 115200 bps y se alimenta con una fuente de +10 ~ +30 VDC.



Módulo concentrador ICP DAS I-7514U.

Módulos ICP DAS I-7520: Sirve como pasarela y tiene la función de convertir la norma de entrada RS-232 a la norma utilizada en la red de destino, la norma RS-485. Presenta una velocidad de transmisión de 300 ~ 115200 bps y consume como máximo 2 W.



Módulo conversor de norma RS-232/RS-485 ICP DAS I-7520.

Anexo 17. Tramas de configuración utilizadas por el protocolo MiWi para garantizar el enrutamiento de los paquetes de información en las redes inalámbrica

Trama de configuración para enviar la dirección EUI del módulo (myLongAddress).

Tipo de reporte	Identificador	Acción	Tamaño del Dato
USER_REPORT_TYPE	mConfig	Enviar dato de configuración	1 Byte

Trama con la dirección EUI del módulo que va a recibir (myLongFriendAddress).

Tipo de reporte	Identificador	Acción	Tamaño del Dato
USER_REPORT_TYPE	_xConfig	Enviar dato de configuración	1 Byte

Trama de reconocimiento (ACK) de los mensajes de configuración.

Tipo de reporte	Identificador	Acción	Tamaño del Dato
USER_REPORT_TYPE	CONFIG_DONE_REPORT	Notifica acción realizada	1 Byte

Trama de supervisión del estado de la puerta principal y del balcón.

Tipo de reporte	Identificador común	Específico	Acción	Tamaño
USER_REPORT_TYPE	WINDOW_REPLY_STATUS	DOOR_REPORT	Envía datos	1 Byte

Trama de supervisión del estado del detector de presencia.

Tipo de reporte	Identificador común	Específico	Acción	Tamaño
USER_REPORT_TYPE	WINDOW_REPLY_STATUS	PRESENSE_REPORT	Envía datos	1 Byte

Trama de supervisión del estado del detector de humo.

Tipo de reporte	Identificador común	Específico	Acción	Tamaño
USER_REPORT_TYPE	WINDOW_REPLY_STATUS	SMOKE_REPORT	Envía datos	1 Byte

Trama de reconocimiento (ACK) de los mensajes que llegan al coordinador.

Tipo de reporte	Identificador	Acción	Tamaño
USER_REPORT_TYPE	WINDOW_REQUEST_STATUS	Notifica acción realizada	1 Byte