



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ZIGBEE PARA APLICACIONES
INDUSTRIALES, CASO PRÁCTICO LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL DE LA EIS”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del título de

INGENIERO EN SISTEMAS INFORMÁTICOS

Presentada por:

**SEGUNDO EFRAÍN HIPO LEÓN
DIEGO ARMANDO MOROCHO LEMACHE**

RIOBAMBA – ECUADOR

A Dios por permitir el privilegio de vivir.

A mis padres Ricardo & María, a mis hermanos Patricio, Anita & Luis por impulsarme a seguir un objetivo y por ser un apoyo incondicional durante toda mi vida estudiantil.

Efraín Hipo.

Al amor incondicional de mis padres Luis & María y mis hermanos José Luis & Cristian; a la fraternidad y alegría de mis amigos que dieron sentido a mi existencia; a la sabiduría de cada individuo que me ha ayudado a evolucionar; y a Dios por darme la oportunidad de experimentar las penas y gozos de la vida.

Diego Morocho.

A mis familiares que tanto les debo.

A mis maestros que impartieron sus conocimientos y sabiduría.

A todos mis amigos y compañeros de carrera.

Efraín Hipo.

A mis padres por brindarme el apoyo necesario para culminar esta meta.

A mis hermanos por el cariño y apoyo brindado durante este tiempo.

A mis familiares por toda la ayuda brindada.

A mis maestros y amigos por todos estos años de convivencia, desarrollo personal y profesional.

Diego Morocho.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
ING. IVÁN MENES DECANO FACULTAD INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ING. RAÚL ROSERO DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA EN SISTEMAS
ING. MARCO VITERI DIRECTOR DE TESIS
ING. DANNY VELASCO MIEMBRO DEL TRIBUNAL
TLGO. CARLOS RODRÍGUEZ DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN
NOTA DE LA TESIS

“Nosotros, Segundo Efraín Hipo León y Diego Armando Morocho Lemache, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.”

SEGUNDO EFRAÍN HIPO LEÓN

DIEGO ARMANDO MOROCHO LEMACHE

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

Abreviaturas

dB.	Decibel Decibelio
GHz.	Gigahertz Gigahercio
KB.	Kilobyte
Kbps.	kilobit per second Kilobit por Segundo
KW.	Kilowatts Kilovattios
MHz.	Megahertz Megahercio
mW.	MiliWatts miliWatio
MW.	Megawatt Megavatio
W.	Watts Vatio

Acrónimos

ACK	Acknowledgement Acuse de Recibo
AES	Advanced Encryption Standard Estándar de cifrado avanzado
AIB	APS information base APS base de información
AO	Application Object Aplicación de objetos

AODV	Ad hoc on-demand distance vector Ad hoc a petición de vector de distancia
APL	Application Layer Capa de Aplicación
APS	Application Supports Soporte de Aplicación
APSD	Service Access Point Data Entity Servicio Punto de Acceso Datos de Entidad
APSD-SAP	Applications Supports data entity-service access point Servicio Punto de Acceso – Soporte de Aplicación Datos de Entidad
APSM	Applications Supports management entity Soporte Aplicaciones Gestión de Entidad
APSM-SAP	Applications Supports manager entity-service access point Soporte de Aplicación Gestión de Entidad – Servicio de Punto de Acceso
BI	Beacon Interval Baliza de Intervalo
BO	Beacon Order Guía de Orden
BPSK	Binary Phase Shift Keying Codificación Binaria de Cambio de Fase
CAP	Contention Access Period Contención Periodo de Acceso
CBC – MAC	Cipher Block Chaining - Message Authenticity Check Encadenamiento de Bloque Cifrado - Control Mensaje de Autenticación
CCA	Clear channel Assessment Borrar Canal de Evaluación
CFP	Contention Free Period Contención Periodo Libre
CH	Cluster Head

	Clúster de Cabeceras
CID	Cluster Identified Identificador de Clúster
CON REQ	Connection Request Solicitud de Conexión
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance Acceso Múltiple por Detección de Portadora / Detección de Colisiones
CRC	Cyclic Redundancy Check Comprobación de Redundancia Cíclica
DD	Designated Device Dispositivo Designado
DE	Data Entity Entidad de Dato
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum Difusión de Secuencia Directa de Espectro
ED	Energy Detection Detección de Energía
EIS	Escuela de Ingeniería en Sistemas
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
FCS	Frame Check Sequence Comprobación Secuencia de Tramas
FFD	Full function device Dispositivo de función completa
GTS	Guaranteed Time Slots Ranuras de Tiempo Garantizado
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IFS	Inter Frame Spacing Espacio Entre Tramas
ISM	Industrial, Scientific & Medical Industria Científica y Medica

LQI	Link Quality Indication Indicador Enlace de Calidad
LR-WPAN	Low Rate - Wireless Personal Area Network Red Inalámbrica de Área Personal de Baja Tasa
LS REP	Link State Report Reporte Estado de Enlace
MAC	Medium Access Control Control de Acceso al Medio
ME	Management entity Gestión de Entidad
MCPS-SAP	MAC Common Part Sublayer-Service Access Point MAC Parte Común Subcapa – Servicio Punto de Acceso
MIC	Message Integrity Code Código Integridad de Mensaje
MLME-SAP	MAC Layer Management Entity-Service Access Point MAC Capa Gestión de Entidad – Servicio Punto de Acceso
MODBUS/RTU	Modbus/ Remote Terminal Unit Modbus/Unidad Terminal Remota
NET CON REQ	Network Connection Request Solicitud de Conexión de Rede
NET CON RES	Network Connection Response Respuesta de Conexión de Rede
NET LS REP	Network Link State Report Reporte Estado de Enlace de Red
NWK	Network Layer Capa de Red
OSI	Open System Interconnection Interconexión de Sistemas Abiertos
PAN	Personal area network Red de Área Personal
PC	Computadora Personal Computadora Personal

PCI	Peripheral Component Interconnect Interconexión de Componentes Periféricos
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association Asociación Internacional de Computadoras Personales y Tarjetas de Memoria
PDA	Personal Digital Assistant Asistente Digital Personal
PLC	Control Logic Programmable Control Lógico Programable
POS	Personal Operating Space Espacio Personal Operativo
PHR	Phy Header Cabecera Phy
PHY	Physical Layer Capa Física
PSDU	Phy Service Data Unit Phy Servicio Unidad de Datos
QoS	Quality of Service Calidad de Servicio
RF	Radio Frequency Radio Frecuencia
RFD	Reduced function device Dispositivo de Función Reducida
RREQ	Route Request Solicitud de Ruta
RREP	Route Reply Respuesta de Ruta
RTU	Remote Terminal Unit Unidad Terminal Remota
SAP	Service Access Point Servicio Punto de Acceso
SD	Superframe Duration

	Duración Supertrama
SHR	Synchronization Header Sincronización de Cabecera
SIG	Special Interest Group Grupo de Interés Especial
SO	Superframe Order Orden Supertrama
SSP	Security Services Provider Proveedor de Servicios de Seguridad
SSS	Security Service Specification Especificación de Servicios de Seguridad
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol Protocolo de Control de Trasmisión / Protocolo de Internet
USB	Universal Serial Bus Bus Serie Universal
VPN	Virtual Private Network Red Privada Virtual
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance Alianza Compatibilidad de Ethernet inalámbrica
WEP	Wired Equivalent Privacy Privacidad Equivalente Conexión de Cable
Wi-fi	Wireless Fidelity Fidelidad Inalámbrica
WLAN	Wireless Local Area Network Red Inalámbrica de Área Local
WPA	Wi-fi Protect Access Wi-fi Protección de Acceso
WPAN	Wireless Personal Area Network Red Inalámbrica de Área Personal
XP	Xtreme Programing Programación Extrema
ZC	ZigBee Coordinator

	Coordinador ZigBee
ZED	ZigBee end device Dispositivo Final ZigBee
ZED- TiREL2	ZigBee whit relay ZigBee con Relé
ZOD	ZigBee Device Object Objeto Dispositivo ZigBee
ZR	Router ZigBee

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1	Introducción.....	- 27 -
1.2	Antecedentes.....	- 28 -
1.2.1	Descripción.....	- 28 -
1.2.2	Lugar de aplicación.....	- 29 -
1.2.3	Alcance	- 29 -
1.3	Justificación.....	- 30 -
1.3.1	Justificación teórica	- 30 -
1.3.2	Justificación aplicativa	- 31 -
1.4	Objetivos.....	- 32 -
1.4.1	Objetivo General	- 32 -
1.4.2	Objetivos Específicos.....	- 32 -
1.5	Hipótesis	- 33 -

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Introducción.....	- 34 -
2.2	Estándar de comunicación IEEE 802.15.4 /“ZIGBEE”	- 35 -
2.2.1	Alliance ZigBee	- 35 -
2.2.1.1	Alianza de Promotores ZigBee	- 36 -
2.2.1.2	Alianza de Participantes ZigBee	- 36 -
2.2.1.3	Origen del nombre ZigBee.....	- 37 -
2.2.2	Estándar ZigBee	- 37 -
2.2.2.1	Características de ZigBee	- 38 -
2.2.2.2	Estándar IEEE 802.15.4	- 39 -
2.2.2.3	ZigBee/IEEE 802.15.4 – Características Generales	- 40 -
2.2.2.4	Funciones del estándar ZigBee	- 41 -
2.2.2.4.1	Búsqueda de red (Network Scan).....	- 41 -
2.2.2.4.2	Creación de una red PAN (Creating).....	- 41 -
2.2.2.4.3	Descubrimiento de dispositivos (Device Discovery).....	- 41 -
2.2.2.4.4	Descubrimiento de servicio (Service Discovery).....	- 41 -
2.2.2.4.5	Unión (Binding)	- 41 -
2.2.2.4.6	Asociación y disociación de dispositivos (Joining and leaving a network)	- 41 -
2.2.2.4.7	Configuración de un nuevo dispositivo (Configuring a new device).....	- 42 -
2.2.2.4.8	Direccionamiento (Addressing)	- 42 -
2.2.2.4.9	Sincronización en una red (Synchronization within a network).....	- 42 -
2.2.2.4.10	Seguridad (Security)	- 42 -
2.2.2.4.11	Asignación de ruta (Routing)	- 42 -
2.2.2.5	Objetivos de la Arquitectura ZigBee	- 42 -
2.2.2.6	Objetivos técnicos del mercado ZigBee	- 43 -
2.2.3	Stack ZigBee	- 44 -
2.2.4	Application Layer (APL).....	- 44 -
2.2.4.1	Application Framework.....	- 44 -

2.2.4.2	Application Supports (APS).....	- 44 -
2.2.4.3	ZigBee Device Object (ZDO).....	- 45 -
2.2.5	Network Layer (NWK)	- 45 -
2.2.5.1	Tipos de dispositivos.....	- 45 -
2.2.5.1.1	Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC).....	- 46 -
2.2.5.1.2	Router ZigBee (ZigBee Router, ZR)	- 46 -
2.2.5.1.3	Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED)	- 46 -
2.2.5.1.4	Full Function Device (FFD).....	- 46 -
2.2.5.1.5	Reduced Function Device (RFD).....	- 47 -
2.2.5.2	Red ZigBee.....	- 47 -
2.2.5.3	Topologías de Red.....	- 48 -
2.2.5.3.1	Topología en estrella.....	- 48 -
2.2.5.3.2	Topología cluster tree.....	- 49 -
2.2.5.3.3	Topología mesh.....	- 50 -
2.2.6	MAC (Medium Access Control).....	- 50 -
2.2.6.1	Modos de Operación en ZigBee/IEEE 802.15.4.....	- 51 -
2.2.6.1.1	Modo Beacon-Habilitado.....	- 51 -
2.2.6.1.2	Modo Beacon-no habilitado	- 52 -
2.2.6.2	Estructura de Superframes	- 52 -
2.2.6.2.1	Beacon	- 53 -
2.2.6.2.2	Contention Access Period (CAP).....	- 53 -
2.2.6.2.3	Contention Free Period (CFP)	- 54 -
2.2.6.3	Mecanismos de Acceso al Medio.....	- 56 -
2.2.6.4	Separación entre Tramas.....	- 56 -
2.2.6.5	Sondeo de Canales.....	- 56 -
2.2.6.5.1	Sondeo de canal ED (Energy Detection).....	- 57 -
2.2.6.5.2	Sondeo de canal activo	- 57 -
2.2.6.5.3	Sondeo de canal pasivo	- 57 -
2.2.6.5.4	Sondeo de canal Orphan	- 57 -
2.2.6.6	Creación de una Red	- 58 -
2.2.6.6.1	Generación de beacon	- 58 -
2.2.6.6.2	Descubrimiento de un dispositivo	- 58 -
2.2.6.6.3	Asociación de un dispositivo.....	- 58 -
2.2.6.6.4	Disociación de un dispositivo.....	- 59 -
2.2.6.6.4.1	Coordinador inicia la disociación	- 59 -
2.2.6.6.4.2	Dispositivo inicia la disociación.....	- 59 -
2.2.6.6.5	Sincronización	- 60 -
2.2.6.6.5.1	Sincronización en una red con modo beacon-habilitado	- 60 -
2.2.6.6.5.2	Sincronización en una red con modo beacon-no habilitado	- 60 -
2.2.6.6.5.3	Sincronización de dispositivos orphaned	- 60 -
2.2.6.6.6	Transmisión y recepción de dato.....	- 61 -
2.2.6.6.6.1	Transmisión de datos	- 61 -
2.2.6.6.6.2	Recepción de datos.....	- 62 -
2.2.6.6.6.3	Extracción de datos pendientes desde el coordinador	- 62 -
2.2.6.7	Estructura de las Tramas MAC.....	- 63 -
2.2.6.7.1	Estructura de la trama de Datos (Data Frame)	- 63 -
2.2.6.7.1.1	MAC Header	- 63 -
2.2.6.7.1.2	MAC Service Data Unit	- 64 -

2.2.6.7.1.3	MAC Footer	- 64 -
2.2.6.7.2	Estructura de la trama Beacon (Beacon Frame)	- 64 -
2.2.6.7.2.1	MAC Service Data Unit	- 65 -
2.2.6.7.3	Estructura de la trama ACK (Acknowledgment Frame)	- 65 -
2.2.6.7.4	Estructura de la trama de Comandos MAC (MAC Command Frame).....	- 66 -
2.2.7	Capa Física (physical layer)	- 66 -
2.2.7.1	Características de la capa física	- 67 -
2.2.7.1.1	Activación y desactivación del radio transceiver.....	- 68 -
2.2.7.1.2	Detección de energía (ED) en el canal	- 68 -
2.2.7.1.3	Indicador de calidad del enlace.....	- 68 -
2.2.7.1.4	Clear Channel Assessment (CCA)	- 68 -
2.2.7.1.4.1	Modo de detección de energía.....	- 68 -
2.2.7.1.4.2	Modo de sondeo de carrier	- 68 -
2.2.7.1.4.3	Sondeo de carrier con detección de energía.....	- 69 -
2.2.7.1.5	Selección de la frecuencia del canal	- 69 -
2.2.7.2	Paquete de Capa Física (PHY)	- 69 -
2.2.7.2.1	Synchronization HeadeR (SHR)	- 69 -
2.2.7.2.2	Phy HeadeR (PHR).....	- 69 -
2.2.7.2.3	Phy Service Data Unit (PSDU).....	- 70 -
2.2.7.3	Canales IEEE 802.15.4.....	- 70 -
2.2.7.4	Modulación.....	- 71 -
2.2.7.5	Sensibilidad y Potencia	- 71 -
2.2.7.6	Interferencia para otros Dispositivos	- 72 -
2.2.8	Tipos de Tráfico	- 72 -
2.2.8.1	Datos Periódicos.....	- 72 -
2.2.8.2	Datos Intermitentes	- 72 -
2.2.8.3	Datos repetitivos de baja velocidad	- 73 -
2.2.9	Ruteo de Red	- 73 -
2.2.9.1	Algoritmo de Ruteo Aodv (ad hoc on-demand distance vector)	- 73 -
2.2.9.2	Algoritmo Cluster Tree	- 74 -
2.2.9.2.1	Proceso de selección de Cluster Head (CH)	- 74 -
2.2.9.2.2	Red cluster tree simple	- 75 -
2.2.9.2.3	Red cluster tree múltiple.....	- 76 -
2.2.9.2.4	Redes Inter Cluster	- 77 -
2.2.9.2.4.1	Asignación de Cluster ID	- 78 -
2.2.9.3	Algoritmo GRAd.....	- 81 -
2.2.10	Security Service Specification (SSS).....	- 82 -
2.2.10.1	Seguridad en APL.....	- 82 -
2.2.10.2	Seguridad en NWK.....	- 82 -
2.2.10.3	Seguridad en MAC	- 83 -
2.2.11	Mercados y Aplicaciones de ZigBee	- 85 -
2.2.11.1	Periféricos de Computadoras y Electrónica de Consumo	- 85 -
2.2.11.2	Hogares Automatizados.....	- 86 -
2.2.11.3	Aplicaciones Industriales y Comerciales.....	- 87 -
2.2.11.4	Cuidados en la Salud.....	- 87 -

CAPÍTULO III

PARTE INVESTIGATIVA

3.1	Introducción.....	- 88 -
3.2	Bluetooth.....	- 88 -
3.2.1	Introducción.....	- 88 -
3.2.2	Definición	- 89 -
3.2.3	Características.....	- 89 -
3.2.4	Ventajas	- 91 -
3.2.5	Desventajas.....	- 91 -
3.3	Wi-Fi	- 92 -
3.3.1	Introducción.....	- 92 -
3.3.2	Definición	- 92 -
3.3.3	Características.....	- 93 -
3.3.4	Ventajas de Wi-Fi.....	- 94 -
3.3.5	Desventajas de Wi-Fi	- 94 -
3.4	ZigBee	- 95 -
3.4.1	Introducción.....	- 95 -
3.5	Definición	- 96 -
3.6	Características.....	- 96 -
3.7	Ventajas	- 97 -
3.8	Desventajas.....	- 97 -
3.9	Comparación de ZigBee frente a Bluetooth y Wi-fi.....	- 98 -

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA RED ZIGBEE INDUSTRIAL

4.1	Introducción.....	- 100 -
4.2	Aplicación Práctica.....	- 101 -
4.2.1	Metodología para Implementación de la Red ZigBee Industrial	- 101 -
4.2.1.1	FASE I: Planificación	- 103 -
4.2.1.1.1	Descripción del Sistema	- 103 -
4.2.1.1.2	Especificación de Requerimientos	- 105 -
4.2.1.1.2.1	Requerimientos funcionales.....	- 105 -
4.2.1.1.2.2	Requerimientos No funcionales.....	- 105 -
4.2.1.1.3	Historia de Usuarios.....	- 106 -
4.2.1.1.4	Planificación Inicial	- 110 -
4.2.1.1.5	Plan de Iteración.....	- 110 -
4.2.1.2	FASE II: Diseño	- 112 -
4.2.1.2.1	Diseño Software	- 112 -
4.2.1.2.1.1	Diagramas de Secuencia.....	- 112 -
4.2.1.2.1.2	Diagrama de Colaboración	- 113 -
4.2.1.2.1.3	Diagrama de Actividades	- 114 -
4.2.1.2.1.4	Diagrama de Estados	- 114 -
4.2.1.2.1.5	Diagrama de Despliegue	- 115 -
4.2.1.3	FASE II: Desarrollo	- 115 -
4.2.1.3.1	Introducción.....	- 116 -
4.2.1.3.2	Instalación de Software	- 116 -
4.2.1.3.2.1	Instalación de TwidoSoftV3.5.....	- 116 -
4.2.1.3.2.2	Instalación de LookoutV6.2.....	- 118 -
4.2.1.3.2.3	Instalación de QModbusV2.0.....	- 123 -

4.2.1.3.3	Creación de la Red ZigBee	- 125 -
4.2.1.3.4	Configuración de dispositivos ZigBee	- 128 -
4.2.1.3.4.1	Configuración Gateway Modbus USB - ZigBee	- 128 -
4.2.1.3.4.2	Configuración Bridge ZigBee – Modbus RS485.....	- 130 -
4.2.1.3.5	Conexión de Dispositivos ZigBee a procesos industriales	- 131 -
4.2.1.3.5.1	Conexión Bridge RS485 a la Interfaz TWDNAC485T del PLC.....	- 132 -
4.2.1.3.5.2	Conexión ZigBee TIREL2 al Módulo Control de Iluminación	- 133 -
4.2.1.3.6	Configuración puerto de Comunicación TWDNAC485T del PLC	- 134 -
4.2.1.3.7	Programación en LookoutV6.2.....	- 136 -
4.2.1.4	FASE IV: Pruebas del sistema.....	- 150 -
4.2.1.4.1	Pruebas Hardware.....	- 150 -
4.2.1.4.2	Pruebas Software.....	- 151 -
4.3	Demostración de Hipótesis	- 151 -

CAPÍTULO V

APORTE INVESTIGATIVO

5.1	Introducción.....	- 164 -
5.2	Guía de referencia para implementar una Red ZigBee Industrial.....	- 165 -
5.2.1	Introducción.....	- 165 -
5.2.2	Descripción.....	- 165 -
5.2.3	Importancia.....	- 166 -
5.2.4	Determinar elementos de la Red	- 166 -
5.2.5	Descripción de elementos que conforman la Red	- 168 -
5.2.5.1	Gateway Modbus USB – ZigBee (ZC-GW-USB-EM).....	- 168 -
5.2.5.1.1	Aplicación Típica	- 169 -
5.2.5.1.2	Principales características	- 169 -
5.2.5.1.3	Especificaciones Técnicas	- 170 -
5.2.5.1.4	Dimensiones (mm)	- 171 -
5.2.5.2	Bridge ZigBee – Modbus RS485 (ZR-BR-485-EM).....	- 171 -
5.2.5.2.1	Características Principales	- 172 -
5.2.5.2.2	Aplicación Típica	- 172 -
5.2.5.2.3	Especificaciones Técnicas	- 172 -
5.2.5.2.4	Dimensiones (mm)	- 173 -
5.2.5.3	ZigBee Module with relay (ZR-TIREL2-EM)	- 174 -
5.2.5.3.1	Características Principales	- 174 -
5.2.5.3.2	Aplicación Típica	- 175 -
5.2.5.3.3	Especificaciones Técnicas	- 175 -
5.2.5.3.4	Dimensiones (mm)	- 176 -
5.2.5.4	PLC TWDLMDA20DTK	- 176 -
5.2.5.4.1	Definición	- 177 -
5.2.5.4.2	Campo de aplicación.....	- 177 -
5.2.5.5	Módulo Estación de Distribución.....	- 178 -
5.2.5.6	Módulo Control de Iluminación.....	- 180 -
5.2.6	Seleccionar la topología de red a utilizar.....	- 181 -
5.2.7	Configuración de la Red	- 182 -
5.2.8	Configuración de dispositivos	- 194 -
5.2.9	Conexión del PLC y Control de Iluminación a dispositivos ZigBee	- 197 -

5.2.10	Dispositivos a programar	- 198 -
5.2.11	Pruebas	- 198 -

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

RESUMEN

SUMMARY

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I - 1 Pila del Protocolo ZigBee	- 31 -
Figura I - 2 Red ZigBee para Aplicaciones Industriales	- 32 -
Figura II - 3 La insignia de ZigBee.....	- 35 -
Figura II - 4 Promotores de la Alliance ZigBee	- 36 -
Figura II - 5 Participantes de la Alliance ZigBee	- 36 -
Figura II - 6 Stack de protocolos ZigBee.....	- 44 -
Figura II - 7 Red Típica de ZigBee.....	- 48 -
Figura II - 8 Topología en Estrella	- 49 -
Figura II - 9 Topología Cluster-Tree	- 50 -
Figura II - 10 Topología Mesh	- 50 -
Figura II - 11 Partes de una superframe	- 52 -
Figura II - 12 Partes del periodo activo de una superframe	- 53 -
Figura II - 13 Parámetros que define una superframe	- 54 -
Figura II - 14 Transferencia de datos en modo beacon-habilitado	- 61 -
Figura II - 15 Transferencia de datos en modo beacon-no habilitado2	- 62 -
Figura II - 16 Formato general de la trama MAC1	- 63 -
Figura II - 17 Formato general de la trama Beacon1	- 65 -
Figura II - 18 Formato general de la trama ACK1	- 65 -
Figura II - 19 Formato general de la trama de comandos1	- 66 -
Figura II - 20 Estructura del paquete de capa física1.....	- 69 -
Figura II - 21 Estructura de canales de IEEE 802.15.41	- 70 -
Figura II - 22 Esquema de selección de cabecera de cluster.....	- 75 -
Figura II - 23 Enlace entre canal y nodo miembro	- 75 -
Figura II - 24 Procedimiento de enlace en red multi cluster	- 77 -
Figura II - 25 Asignación de CID (1)	- 78 -
Figura II - 26 Asignación de CID (2)	- 79 -
Figura II - 27 Asignación de CID (3)	- 80 -
Figura II - 28 Asignación de CID (4)	- 80 -
Figura II - 29 Red multi cluster y nodos borde	- 81 -
Figura II - 30 Trama MAC con seguridad.....	- 82 -
Figura II - 31 Trama MAC con seguridad.....	- 83 -
Figura II - 32 Trama MAC con seguridad.....	- 85 -
Figura II - 33 Electrónica de consumo	- 86 -
Figura II - 34 Automatización de los hogares.....	- 86 -
Figura II - 35 Botón de alarma, llamado sistema LISA.....	- 87 -
Figura IV - 36 Módulo conectado a la Red	- 104 -
Figura IV - 37 Primera Iteración.....	- 110 -
Figura IV - 38 Segunda Iteración.....	- 110 -
Figura IV - 39 Diagrama de Secuencia Red ZigBee Industrial.....	- 112 -
Figura IV - 40 Diagrama de Colaboración Red ZigBee Industrial.....	- 113 -
Figura IV - 41 Diagrama de Actividades Red ZigBee Industrial	- 114 -
Figura IV - 42 Diagrama de Estados Red ZigBee Industrial.....	- 115 -
Figura IV - 43 Diagrama de Despliegue Red ZigBee Industrial.....	- 115 -
Figura IV - 44 Instalador TwidoSoftV3.5.....	- 116 -
Figura IV - 45 Selección de ruta de instalación.....	- 117 -
Figura IV - 46 Selección del idioma para TwidoSofV3.5	- 117 -

Figura IV - 47 Selección del tipo de instalación	- 117 -
Figura IV - 48 Selección carpeta de programas.....	- 118 -
Figura IV - 49 Interfaz de programación de TwidoSofV3.5	- 118 -
Figura IV - 50 Selección de Instalación de LookoutV6.2.....	- 119 -
Figura IV - 51 Generar serie del producto	- 119 -
Figura IV - 52 Información de usuario	- 120 -
Figura IV - 53 Directorio de destino de LookoutV6.2	- 120 -
Figura IV - 54 Selección de opción de instalación	- 121 -
Figura IV - 55 Inicio de instalación de LookoutV6.2.....	- 121 -
Figura IV - 56 Proceso de instalación de paquetes	- 122 -
Figura IV - 57 Interfaz de programación de LookoutV6.2	- 122 -
Figura IV - 58 Instalador de QModbusV2.0	- 123 -
Figura IV - 59 Ruta de instalación de QModbusV2.0.....	- 123 -
Figura IV - 60 Selección de carpeta de inicio de QModbusV2.0	- 124 -
Figura IV - 61 Proceso de instalación de QModbusV2.0	- 124 -
Figura IV - 62 Interfaz de trabajo de QModbusV2.0.....	- 125 -
Figura IV - 63 Data Sheet Gateway Modbus USB - ZigBee.....	- 125 -
Figura IV - 64 Dirección del Gateway Modbus USB – ZigBee	- 126 -
Figura IV - 65 Data Sheet del ZigBee Module With Relay	- 126 -
Figura IV - 66 Dirección del ZigBee Module With Relay	- 127 -
Figura IV - 67 Data Sheet del Bridge Modbus RS485.....	- 130 -
Figura IV - 68 Parámetros de comunicación en el Bridge Modbus	- 131 -
Figura IV - 69 Interfaz RS485 del Bridge ZigBee – Modbus RS485.....	- 132 -
Figura IV - 70 Tarjeta de comunicación TWDNAC485T	- 132 -
Figura IV - 71 Esquema de conexión puerto RS485 al TWDNAC485T.....	- 133 -
Figura IV - 72 Relés del ZigBee Module With Relay	- 133 -
Figura IV - 73 Esquema de conexión a los relés del TIREL2.....	- 134 -
Figura IV - 74 Inicio de TwidoSoftV3.5	- 134 -
Figura IV - 75 Selección de un programa para TwidoSoftV3.5	- 135 -
Figura IV - 76 Configuración puerto 2 del PLC	- 135 -
Figura IV - 77 Resumen configuración de puertos del PLC	- 136 -
Figura IV - 78 Icono inicio de LookoutV6.2	- 136 -
Figura IV - 79 Datos del proyecto a construir.....	- 137 -
Figura IV - 80 Datos del Panel Tesis Red ZigBee Industrial	- 137 -
Figura IV - 81 Insertar un texto.....	- 138 -
Figura IV - 82 Datos iniciales de un botón	- 138 -
Figura IV - 83 Vincular un botón a un panel	- 139 -
Figura IV - 84 Datos finales de un botón	- 139 -
Figura IV - 85 Interfaz de presentación del proyecto	- 140 -
Figura IV - 86 Selección de objeto panel	- 140 -
Figura IV - 87 Datos del panel menú principal.....	- 141 -
Figura IV - 88 Interfaz del menú principal	- 141 -
Figura IV - 89 Selección del objeto Modbus	- 142 -
Figura IV - 90 Parámetros para el dispositivo Gateway	- 142 -
Figura IV - 91 Parámetros para el dispositivo PLC	- 143 -
Figura IV - 92 Parámetros para el dispositivo ZigBee Module With Relay	- 143 -
Figura IV - 93 Selección del objeto Animador.....	- 144 -
Figura IV - 94 Selección del grafico para objeto Animador	- 144 -
Figura IV - 95 Establecer un nombre al objeto Animador	- 145 -

Figura IV - 96 Asociación del objeto animador a una salida del PLC.....	- 145 -
Figura IV - 97 Interfaz Estación de Distribución.....	- 146 -
Figura IV - 98 Selección de gráfico para indicar luminoso	- 146 -
Figura IV - 99 Selección de grafico para alarma.....	- 147 -
Figura IV - 100 Interfaz Control de Iluminación.....	- 147 -
Figura IV - 101 Asociación del Objeto Modbus a una salida del Gateway	- 148 -
Figura IV - 102 Configuración del dato de salida del Gateway	- 148 -
Figura IV - 103 Interfaz de datos generales de la red ZigBee.....	- 149 -
Figura VI - 104 Interfaz de Créditos del proyecto	- 150 -
Figura IV - 105 Comparación de Redes	- 159 -
Figura IV - 106 Comparación de Gestión	- 159 -
Figura IV - 107 Distribución normal del coeficiente de Pearson.....	- 163 -
Figura V - 108 Gateway Modbus USB –ZigBee.....	- 168 -
Figura V - 109 Aplicación típica del Gateway USB	- 169 -
Figura V - 110 Dimensiones del Gateway USB	- 171 -
Figura V - 111 Bridge ZigBee – Modbus RS485.....	- 171 -
Figura V - 112 Aplicación Típica del Bridge ZigBee – Modbus RS485.....	- 172 -
Figura V - 113 Dimensiones del Bridge ZigBee	- 173 -
Figura V - 114 ZigBee Module With Relay.....	- 174 -
Figura V - 115 Aplicación típica del ZigBee Module With Relay.....	- 175 -
Figura V - 116 Dimensiones del ZigBee Module With Relay.....	- 176 -
Figura V - 117 PLC TWDLMDA20DTK.....	- 177 -
Figura V - 118 Estación de Distribución.....	- 179 -
Figura V - 119 Indicar luminoso.....	- 181 -
Figura V - 120 Alarma	- 181 -
Figura V - 121 Topología en Estrella	- 182 -
Figura V - 122 Direccionamiento del Gateway.....	- 184 -
Figura V - 123 Direccionamiento de sensores/actuadores.....	- 185 -
Figura V - 124 Leds de Dispositivos ZigBee	- 187 -
Figura V - 125 Topología de una red ZigBee.....	- 192 -
Figura V - 126 Respuesta de comunicación de los dispositivos en Red	- 198 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II - I Parámetros técnicos según las frecuencias1	- 67 -
Tabla II - II Frecuencias de canales IEEE 802.15.4	- 71 -
Tabla III - III Clases de transmisión de Bluetooth	- 90 -
Tabla III - IV Comparación de Tecnologías Inalámbricas	- 98 -
Tabla IV - V Parámetros comunicación serial Bridge ZigBee – Modbus RS485 ...	- 131 -
Tabla IV - VI Variables de la Hipótesis	- 152 -
Tabla IV - VII Operacionalización Metodológica	- 154 -
Tabla IV - VIII Valores de factores de correlación.....	- 156 -
Tabla IV - IX Cuadro comparativo de red	- 157 -
Tabla IV - X Cuadro comparativo gestión de la red	- 158 -
Tabla IV - XI Cuadro Resumen General Comparación de redes y gestión	- 160 -
Tabla IV - XII Cuadro de valores para el cálculo del coeficiente de Pearson	- 161 -
Tabla V - XIII Especificaciones Técnicas del Gateway USB	- 170 -
Tabla V - XIV Especificaciones Técnicas del Bridge ZigBee	- 172 -
Tabla V - XV Especificaciones Técnicas del ZigBee Module With Relay	- 175 -
Tabla V - XVI Esquema de Comunicación Modbus-RTU.....	- 191 -
Tabla V - XVII Parámetros Configuración del Bridge ZigBee – Modbus RS485....	- 196 -
Tabla V - XVIII Conexión RS485 Bridge ZigBee al TWDNAC485T del PLC	- 197 -

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo de investigación está orientado a la implementación de una Red ZigBee para Aplicaciones Industriales el mismo que permitirá la gestión eficiente de los procesos industriales a través de una estación central PC, en nuestro caso el proyecto está compuesto por un equipo central el Coordinador ZigBee y dos equipos finales el Router ZigBee y el Dispositivo Final ZigBee ZR-TiREL2 , estos equipos están integrados por medio de una red de comunicación inalámbrica usando el protocolo de comunicación ZigBee, cuyo estándar es el IEEE 802.15.4 de Redes de Área Personal WPAN.

Mediante el uso de una estación central PC, se podrá monitorear, gestionar de forma centralizada los equipos ZigBee y los procesos industriales, facilitando así la configuración y programación de estos módulos.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1 Introducción

En la actualidad la mayoría de las empresas buscan incorporar la automatización industrial a sus procesos, con el fin de optimizar recursos y ser competitivos frente a las demás empresas, también tratar de brindar un buen servicio a todos sus empleados, por esta razón se plantea implementar una red ZigBee para aplicaciones industriales, esta red industrial se implementará en el Laboratorio de Automatización Industrial de la EIS, el mismo que está integrado por equipos ZigBee, Industriales e Informáticos.

En la presente investigación se analizará si es factible el implementar esta red inalámbrica mediante el protocolo de comunicación ZigBee basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN), la misma que servirá para la verificación de la hipótesis planteada.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Descripción

Hoy en día la transmisión de información en su mayoría se lo realiza de manera inalámbrica esto es sin cables físicos, sino simplemente usando el medio ambiente (Aire), para este fin existen diversas tecnologías tales como Wi-Fi, Bluetooth, WiMAX, USB inalámbrico, etc.

Estas tecnologías sin lugar a duda llenan las expectativas de los usuarios que hacen uso de estas para sus fines comunes. Pero sus necesidades van más allá, es así que se presenta la necesidad de poder gestionar equipos industriales de forma inalámbrica, pero teniendo en cuenta el recurso económico de los usuario.

Es claro que las tecnologías mencionadas con anterioridad son las más utilizadas pero no las adecuadas para este fin, puesto que su arquitectura no pensó en ella cuando fueron creadas.

El Implementar una Red ZigBee para aplicaciones Industriales, permitirá gestionar todos los equipos industriales de manera eficiente uniéndolos a una red, esto teniendo en cuenta las ventajas que brinda la tecnología ZigBee como su bajo costo de implementación y un mínimo consumo energético.

La tecnología ZigBee ya fue analizada con anterioridad pero haciendo énfasis en el área de la domótica específicamente en el “ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE DOMÓTICA ACTIVADO POR COMANDO DE VOZ Y COMUNICACIÓN EN ZIGBEE”, sin embargo esta tecnología también es aplicable en el área industrial, principalmente en la gestión de procesos.

1.2.2 Lugar de aplicación

La presente investigación que se realizara entrará a formar parte del conjunto de procesos industriales, la misma que está desarrollado en el laboratorio de Automatización Industrial de la Escuela de Ingeniería en Sistema Informáticos de La ESPOCH.

1.2.3 Alcance

La implementación de la Red ZigBee Industrial en el laboratorio de Automatización Industrial de la EIS, permitirá que todo el los proceso industrial sea gestionados desde un equipo central.

Esta Red está compuesta por módulos los cuales son:

- Módulo de Control (PC).
- Módulo Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC).
- Módulo Router Bridge ZigBee (ZigBee Router, ZR).
- Módulo Router TiREL2.
- Módulo Control de Iluminación.
- Módulo PLC.
- Módulo final Estación de Distribución

El conjunto de módulos en su totalidad forma la Red ZigBee Industrial, el mismo que funciona de la siguiente manera:

El módulo Coordinador ZigBee está conectado al módulo central mediante un cable USB, al módulo ZR-TiREL2 el mismo controla el módulo control de iluminación, y al módulo Router ZigBee de forma inalámbrica, el Router ZigBee está conectado al módulo PLC mediante un cable RS485, el mismo que controla al módulo Estación de Distribución.

Todos estos módulos están en red predispuestos a transmitir información cuando el caso amerite.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

Durante los últimos años, se vive una gran expansión del uso de las tecnologías inalámbricas para la transmisión de información, pero para la implementación de estas tecnologías se necesitan de un moderado recurso económico y no son las óptimas para el área industrial.

Poseer una red inalámbrica que permita gestionar procesos industriales constituye un pilar fundamental en el desarrollo de una empresa, la gestión que se realice en esta, permitirá mantener la calidad eficiente de los procesos que están inmersas en esta.

Es de esta manera que para conseguir el objetivo propuesto se desea implementar una Red ZigBee para aplicaciones industriales en el laboratorio de automatización Industrial de La Escuela de Ingeniería en Sistemas Informáticos.

Al usar la tecnología ZigBee se mejora la comunicación entre dispositivos, se facilita el montaje de la red a un bajo costo en comparación con otras tecnologías, se puede implementar con diferentes tipos de topologías como estrella, punto a punto, malla, árbol y recolección centralizada de datos.

ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance. No es una tecnología, sino un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y menor consumo energético.

ZigBee opera en las bandas libres ISM (Industrial, Scientific & Medical) de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos), tiene una velocidad de transmisión de 250 Kbps y un rango de cobertura de 10 a 75 metros.

ZigBee es una pila de protocolos, que de manera similar al modelo OSI está constituido por diferentes capas, las cuales son independientes una de la otra. En la figura I - 1, muestran las diferentes capas que conforman la pila de protocolos para ZigBee.

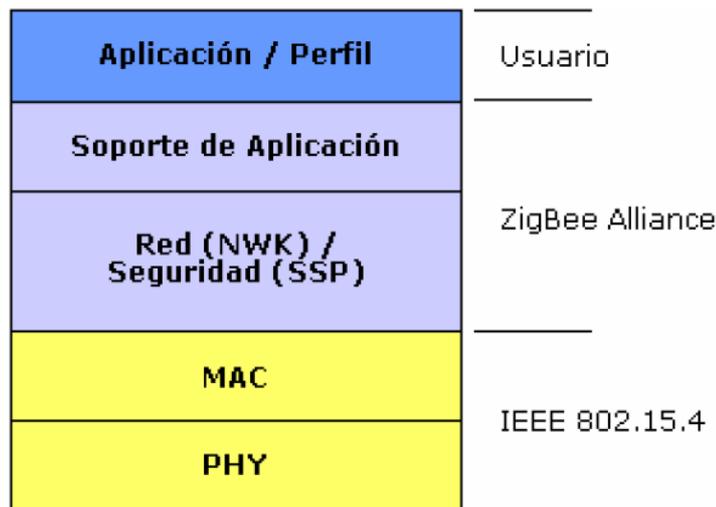


Figura I - 1 Pila del Protocolo ZigBee

1.3.2 Justificación aplicativa

La razón por la que se diseñó el presente trabajo es debido a que en la actualidad existen muchas tecnologías para conformar una red inalámbrica, pero su costo es demasiado elevado y no son las más adecuadas para el entorno industrial, por este motivo se ha decidido implementar una solución a menor costo, implementando un Red ZigBee Industrial para el laboratorio de automatización industrial de la EIS.

Esta Red ZigBee permitirá a que todos los procesos industriales estén interconectados entre sí, permitiendo que su gestión se lo realice de forma más eficiente a través de un equipo central, como se muestra en la Figura I - 2.

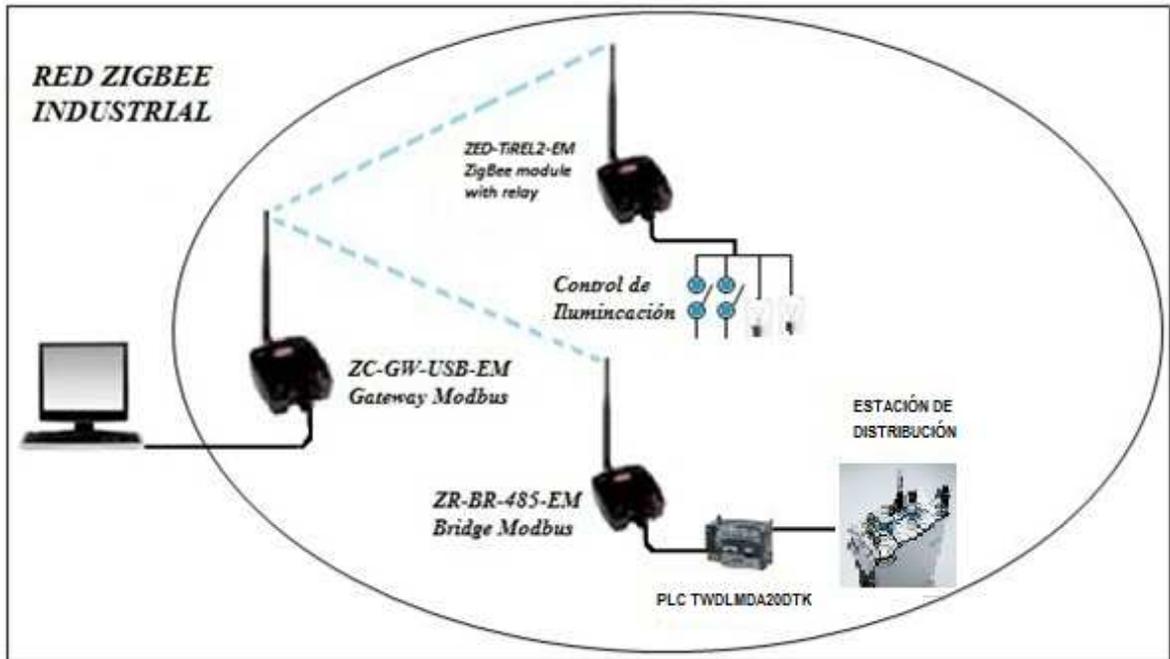


Figura I - 2 Red ZigBee para Aplicaciones Industriales

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

IMPLEMENTAR UNA RED ZIGBEE PARA APLICACIONES INDUSTRIALES EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA EIS, PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS PROCESOS.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estudiar la Red ZigBee industrial para la gestión eficiente de los procesos.
- Determinar las ventajas y desventajas del uso de la tecnología ZigBee ante las demás tecnologías como Bluetooth y Wi-fi, para determinar su campo de aplicación.

- Implementar la Red ZigBee en el laboratorio de automatización Industrial (Módulo Coordinador, Módulo Estación de Distribución, Módulo Router ZigBee y Módulo Control de Iluminación), para el control y gestión eficiente de los equipos.
- Proponer una guía de referencia para implementar Redes Industriales mediante la tecnología ZigBee.

1.5 Hipótesis

Mediante la implementación de una Red ZigBee para aplicaciones industriales se permitirá la gestión eficiente de los procesos industriales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

En este apartado se recopila la información necesaria que permitirá la realización de nuestro proyecto de investigación, aquí se estudiará todo lo que tiene que ver con la tecnología ZigBee, dispositivos ZigBee, además del estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (Wireless personal área Newark, WPAN), los cuales son la base para la realización del presente proyecto de tesis.

De igual manera se identifica las distintas empresas que conforman la Alliance ZigBee y su respectiva función dentro de esta.

2.2 Estándar de comunicación IEEE 802.15.4 /“ZIGBEE”

2.2.1 Alliance ZigBee



Figura II - 3 La insignia de ZigBee

La Alianza ZigBee es un consorcio no lucrativo de más de 70 compañías, incluyendo Invensys, Mitsubishi Electric, y Motorola. Estas compañías trabajan juntas para crear un estándar inalámbrico de bajo costo y de bajo consumo de energía.

Las redes ZigBee comenzaron a ser concebidas por el año 1998, cuando muchos ingenieros al crear Wi-Fi y Bluetooth vieron que estos dos estándares iban a ser inadecuados para muchos usos.

En particular, el afán de la Alianza ZigBee fue diseñar redes ad hoc de auto organización para radios digitales y además, desarrollar perfiles de uso, programas de certificación, insignias y estrategias de comercialización.

El enfoque principal fue desarrollar dispositivos para aplicaciones diferentes, las cuales proveerán al usuario soluciones inalámbricas que son rentables, fáciles de utilizar, altamente confiables y seguras.

El estándar IEEE 802.15.4, en el que se basa ZigBee, fue terminado en mayo de 2003, pero para ese verano, Philips, el promotor más importante, cesó su inversión. Sin embargo, el impulso en las investigaciones sigue y Philips pasó a ser un miembro promotor de la Junta Directiva de la Alianza ZigBee. Sus especificaciones fueron ratificadas el 14 de diciembre de 2004 por la IEEE, pero el 13 de Junio de 2005 se hicieron públicas y disponibles las especificaciones ZigBee para universidades y centros de desarrollo.

2.2.1.1 Alianza de Promotores ZigBee

La Alianza ZigBee tiene dos clases de socios. Los promotores son los jefes de la alianza que representan un cruce de proveedores de semiconductores, de software y de sistemas de la industria, como es el caso de Freescale un promotor subsidiario de Motorola. Algunos de los promotores se presentan en la Figura II – 4.



Figura II - 4 Promotores de la Alliance ZigBee

2.2.1.2 Alianza de Participantes ZigBee

Los participantes tienen un interés menos comprometido en la Alianza ZigBee.

Pueden asistir a las reuniones de la Alianza y tener acceso a todas las especificaciones preliminares.

Igual que los promotores, los participantes de la Alianza ZigBee representan una gran variedad de empresas, tanto fabricantes de semiconductores como fabricantes de equipos. Se presenta algunos de los participantes en la Figura II - 5.



Figura II - 5 Participantes de la Alliance ZigBee

2.2.1.3 Origen del nombre ZigBee

Las abejas melíferas viven en colonias formadas por una reina, unos pocos zánganos y miles de obreras. La supervivencia, éxito, y futuro de la colonia dependen de la comunicación continua entre cada miembro.

La técnica que las abejas utilizan para comunicar una nueva fuente de alimento usa un sistema silencioso pero poderoso de comunicación. La abeja baila en un modelo de zig-zag, compartiendo así la información de situación, distancia, y dirección del alimento recientemente descubierto con sus compañeras.

Al ver que este estándar guarda similitud con una colonia de abejas se decidió bautizar a esta tecnología como ZIGBEE, Zig por la manera que usan las abejas para comunicarse entre si y Bee por abeja.

2.2.2 Estándar ZigBee

El término ZigBee describe un protocolo inalámbrico normalizado para la conexión de una Red de Área Personal Inalámbrico o WPAN.

ZigBee es diferente de los otros estándares inalámbricos, ha sido diseñado para soportar un diverso mercado de aplicaciones con una conectividad más sofisticada que los anteriores sistemas inalámbricos. El estándar enfoca un segmento del mercado no atendido por los estándares existentes, con baja tasa de transmisión de datos, bajo ciclo de servicio de conectividad y bajo costo.

La razón de promover un nuevo estándar, es para permitir la interoperabilidad entre dispositivos fabricados por compañías diferentes. ZigBee es un estándar donde el estándar IEEE 802.15.4 solo contempla las capas PHY (Physical Layer) y MAC (Medium Access Control); las capa NWK (Network Layer) y APL (Application Layer) han sido establecidas por la Alianza ZigBee.

2.2.2.1 Características de ZigBee

- Bajo consumo de energía.
- Los dispositivos que conforman la red deben estar conscientes de la cantidad de energía existente. Considere una casa del futuro con 100 dispositivos de control o censado inalámbrico.
 - Caso 1: 802.11, energía 667 mW (siempre activo), 100 dispositivos/casa y 50,000 casas/ciudad = 3.33 MW
 - Caso 2: 802.15.4 energía 30 mW (siempre activo), 100 dispositivos/casa y 50,000 casas/ciudad = 150 KW
 - Caso 3: 802.15.4 energía 1 mW, 100 dispositivos/casa y 50,000 casas/ciudad = 50 W
- Los dispositivos de ZigBee serán más ecológicos que sus predecesores, ahorrando megavatios de energía a despliegue total.
- Bajo costo en los dispositivos, la instalación y el mantenimiento.
- Los dispositivos ZigBee extenderán la vida de las baterías, las mismas que no necesitarán recarga sino hasta varios años después. La simplicidad de ZigBee permite la creación de redes que requieren poco mantenimiento.
- Redes de alta densidad de nodos. ZigBee permite que las redes manejen hasta 216 dispositivos. Este atributo es fundamental para la creación de series masivas de sensores y redes de mando.
- Presenta un stack de protocolos simple. Se estima que el stack de ZigBee es aproximadamente 1/4 del stack de protocolos de Bluetooth u 802.11. Siendo esta simplicidad esencial para el costo, interoperabilidad, y mantenimiento.

- Implementación global. La capa física del IEEE 802.15.4 adoptada por ZigBee se ha diseñado para la banda de 868 MHz en Europa, la banda de 915 MHz en Norte América, Australia, etc.; y la banda de 2.4 GHz que es reconocida como una banda global aceptada en casi todos los países.

2.2.2.2 Estándar IEEE 802.15.4

Las características más importantes del estándar IEEE 802.15.4 son la flexibilidad de la red, bajo costo y bajo consumo de energía; este estándar se puede utilizar para muchas aplicaciones domóticas e industriales, donde se requieren una baja tasa de transmisión de datos.

Dentro del hogar hay muchas aplicaciones que tienen la necesidad de tener una comunicación, como Internet, conexión de diversos PCs, redes de audio y video, automatización del hogar y seguridad.

Cada una de estas aplicaciones tiene diferentes necesidades de ancho de banda, costos y procedimientos de instalación. Con Internet, las mayores preocupaciones de los diseñadores son satisfacer la necesidad de compartir conexiones de alta velocidad. Por otro lado, las aplicaciones de automatización del hogar y aplicaciones de seguridad no necesitan esta alta velocidad, no necesitan manejar protocolos muy pesados, que afectarían seriamente en el consumo de energía, pues requerirían de mayor poder de procesamiento y un alto costo.

Siguiendo con aplicaciones del hogar, si se coloca un detector de temperatura en una ventana, donde es necesario enviar datos unas pocas veces por hora. Para este tipo de aplicación se manejaría muy bien con un enlace inalámbrico de baja potencia y baja transferencia de datos. El uso de cables sería engorroso y con un alto costo de instalación. Además se prefiere que los aparatos consuman muy poca energía para evitar el cambio constante de las baterías.

La tecnología 802.11 (WLAN) resultaría excesiva y cara para satisfacer los requerimientos de conexión. En el año 2000, dos grupos especialistas en estándares (ZigBee y el grupo de trabajo IEEE 802) se unieron para dar a conocer la necesidad de un nuevo estándar para redes inalámbricas de bajo consumo y de bajo costo para aplicaciones domóticas e industriales, dando como resultado la formación del grupo de trabajo 802.15.4 (LR-WPAN, Low Rate Wireless Personal Area Network), dedicado al fin de crear este nuevo estándar.

2.2.2.3 ZigBee/IEEE 802.15.4 – Características Generales

- Doble capa física (2.4 GHz y 868/915 MHz).
- Velocidad de datos 250 Kbps (2.4 GHz), 40 Kbps (915 MHz), y 20 Kbps (868 MHz).
- Optimización de la energía debido a su bajo ciclo de trabajo (1%).
- El método de acceso al canal es CSMA-CA.
- Baja tasa en la transmisión de datos para dispositivos como sensores debido a su bajo ciclo de trabajo.
- Bajo uso de la batería (la batería puede durar de varios meses a años).
- Múltiples topologías: star, cluster tree, mesh.
- Direccionamiento:
 - 18,450,000,000,000,000 dispositivos (64 bit para direcciones IEEE)
 - 65,535 dispositivos
- GTS (Guaranteed Time Slots) opcional para aplicaciones que requieren baja latencia.

- Rango: 10 a 75 m.

2.2.2.4 Funciones del estándar ZigBee

2.2.2.4.1 Búsqueda de red (Network Scan)

Es la capacidad de un dispositivo de sondear canales dentro de su rango de comunicaciones. Este rango es llamado a menudo POS (Personal Operating Space).

2.2.2.4.2 Creación de una red PAN (Creating)

Es la capacidad de constituir una red sobre canales sin utilizar, en el POS.

2.2.2.4.3 Descubrimiento de dispositivos (Device Discovery)

Es la capacidad de identificar los dispositivos en una PAN.

2.2.2.4.4 Descubrimiento de servicio (Service Discovery)

Es la capacidad de determinar que características o servicios son soportados en los dispositivos dentro de una red.

2.2.2.4.5 Unión (Binding)

Es la capacidad de comunicarse a nivel de capa aplicación con otros dispositivos en la red.

2.2.2.4.6 Asociación y disociación de dispositivos (Joining and leaving a network)

Es la habilidad de ganar nuevos miembros para la red y el proceso para que los miembros dejen la red.

2.2.2.4.7 Configuración de un nuevo dispositivo (Configuring a new device)

La habilidad de configurar el stack para operaciones requeridas.

2.2.2.4.8 Direccionamiento (Addressing)

La habilidad de un coordinador ZigBee para asignar direcciones a dispositivos nuevos en la red.

2.2.2.4.9 Sincronización en una red (Synchronization within a network)

La habilidad de un dispositivo para lograr la sincronización con otro dispositivo a través del envío de tramas beacon o mediante poleo (polling).

2.2.2.4.10 Seguridad (Security)

Aplicando seguridad a las tramas transmitidas y retirando la seguridad a las tramas recibidas.

2.2.2.4.11 Asignación de ruta (Routing)

Enrutamiento de tramas a sus direcciones establecidas.

2.2.2.5 Objetivos de la Arquitectura ZigBee

La arquitectura ZigBee debe permitir el diseño fácil y el desarrollo de los dispositivos baratos y de baja potencia prometidos. La interoperabilidad debe ser considerada como una de las razones principales para la estandarización por lo que la arquitectura debe definir el stack de tal manera de que la terminología esté normalizada. La arquitectura también debe permitir versiones actualizadas y extensiones en el futuro.

2.2.2.6 Objetivos técnicos del mercado ZigBee

ZigBee se ha implementado en la banda mundial de 2.4 GHz, sin necesidad de licencias, o en una de las bandas regionales de 868/915 MHz. El espectro de radio sin licencia, está designado por un acuerdo internacional y pone la carga de adhesión de la especificación sobre el fabricante del equipo.

La banda de 2.4 GHz es la preferida porque es una banda libre de licencias, y porque su uso es a nivel internacional. Hay muchas bandas sin licencia en las frecuencias más altas y más bajas. Las bandas de 2.4 GHz y 868/915 MHz fueron escogidas por el estándar IEEE 802.15.4 debido a sus características de propagación.

Las frecuencias 868/915 MHz y 2.4 GHz tienen buena penetración tanto a través de paredes como de techos, pero tienen un rango limitado. La limitación de rango es realmente deseable para reducir las interferencias. Volviendo a las características deseables de sistemas basados en ZigBee, la instalación debe ser automática o semiautomática, con el propósito de que los consumidores puedan instalar redes inalámbricas fácilmente.

Además, añadir nuevo hardware a un sistema existente debe ser sencillo. Debido a que ZigBee reemplaza cables y otros sistemas inalámbricos, el costo debe ser bajo para hacer el cambio a ZigBee más ventajoso.

El estándar ZigBee debe permitir una transferencia de datos de 250 Kbps y de 20 Kbps. Esto representa la cantidad de datos que puede ser transferida cuando la cabecera de la trama de datos se ha retirado. El hardware ZigBee debe poder comunicarse sobre un rango entre 10 a 75 metros. Un hardware típico a 2.4 GHz presenta una distancia de trabajo hasta 30 metros dentro de un edificio y más de 100 metros en campo abierto.

Se pueden poner hasta 216 dispositivos de ZigBee y todavía funcionar. Los dispositivos finales de la red pueden funcionar hasta 2 años con baterías del tipo AA y AAA. Los dispositivos finales pueden ser sensores inalámbricos, monitores o controladores.

2.2.3 Stack ZigBee

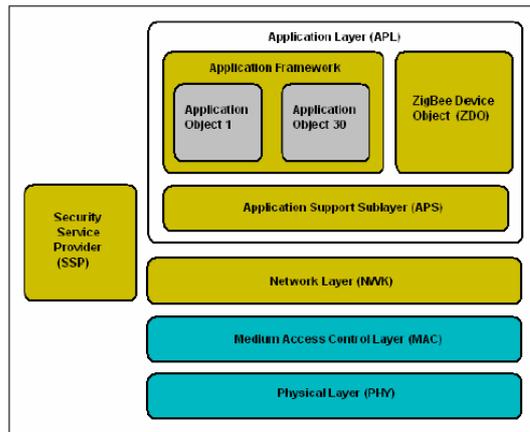


Figura II - 6 Stack de protocolos ZigBee

2.2.4 Application Layer (APL)

La capa aplicación ZigBee consiste de la subcapa Applications Supports (APS), ZigBee Device Object (ZDO) y la Application Object (objeto aplicación) definidos por el fabricante.

2.2.4.1 Application Framework

Application framework es el ambiente en el cual se encuentran los objetos aplicación, mismos que envían y reciben datos a través del APSDE service access point (APSDE-SAP).

Un objeto aplicación está definido por el fabricante que implementa esta aplicación. El stack de protocolos ZigBee soporta hasta 30 objetos aplicación que pueden ser ejecutados al mismo tiempo.

2.2.4.2 Application Supports (APS)

APS provee un interfaz entre NWK y APL a través de servicios utilizados por ZDO y objetos aplicación. El servicio lo proveen dos entidades:

- APS data entity (APSDE) a través del APSDE service access point (APSDE-SAP).
- APS management entity (APSME) a través del APSME service Access point (APSME-SAP).

Las funciones de la subcapa APS incluyen: establecer la comunicación entre dos o más dispositivos según sus servicios y necesidades; y enviar mensajes entre ellos. El APSDE provee el servicio de transmisión de datos entre dos o más dispositivos localizados en la misma red. El APSME provee servicios de descubrimiento y unión de dispositivos y mantiene una base de datos del manejo de objetos, conocido como el APS information base (AIB).

2.2.4.3 ZigBee Device Object (ZDO)

La función de esta subcapa es definir el rol del dispositivo dentro de la red (ya sea de coordinador o de dispositivo final), iniciando o respondiendo a las peticiones y estableciendo una conexión segura entre los dispositivos de la red.

2.2.5 Network Layer (NWK)

La capa red se construye sobre las características de la capa MAC del estándar IEEE 802.15.4, para permitir una mayor cobertura de la red con lo que nuevas redes podrán ser adicionadas para consolidarse o dividirse según la aplicación que se requiera. Debido a que el stack de protocolos de ZigBee es relativamente simple comparado con otros stacks de protocolos de comunicaciones.

2.2.5.1 Tipos de dispositivos

Se definen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee según su papel en la red:

2.2.5.1.1 Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC)

El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos, requiere memoria y capacidad de computación.

2.2.5.1.2 Router ZigBee (ZigBee Router, ZR)

Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.

2.2.5.1.3 Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED)

Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

Basándose en su funcionalidad, puede plantearse una segunda clasificación:

2.2.5.1.4 Full Function Device (FFD)

Es un dispositivo que posee una funcionalidad completa y se apoya en las funciones y características del estándar IEEE 802.15.4. Un FFD puede soportar los siguientes modos de operación:

- Un Coordinador PAN: es el principal controlador de la PAN, este dispositivo identifica a su propia red a la cual otros dispositivos pueden asociarse, proveyéndoles una sincronización global.

- Un simple dispositivo: es un dispositivo que puede actuar como ruteador o como dispositivo final.

2.2.5.1.5 Reduced Function Device (RFD)

Un RFD es un dispositivo que opera con la mínima implementación del protocolo IEEE 802.15.4. Estos dispositivos no tienen la necesidad de enviar grandes cantidades de información ya que solo está previsto para aplicaciones extremadamente simples. Además solo pueden asociarse a un FFD a la vez.

Además:

- Todos los dispositivos deben tener 64 bits para direcciones IEEE.
- Para direccionamiento corto (16 bits), las cuales pueden ser asignadas para reducir el tamaño de los paquetes.
- RFD requiere 12KB a 16KB de memoria.
- FFD requiere 16KB a 20KB de memoria.

Modos de direccionamiento:

- Red + identificador del dispositivo (topología en estrella)
- Identificador de origen/destino (topología peer-peer o mesh)
- Cluster tree origen/destino + identificador de dispositivo (topología clustertree)

2.2.5.2 Red ZigBee

La arquitectura de red en ZigBee define tres topologías de red. El máximo número de dispositivos que se puede tener es de 264 (más del que probablemente se necesite), y se puede configurar una red con un máximo de 65.000 (2^{16}) dispositivos. La formación y la asociación de la red están basadas en algunas suposiciones. Los dispositivos son pre programados para su función de red. Los dispositivos finales siempre tratarán de asociarse a una red existente.

Los coordinadores siempre tratarán de encontrar un canal sin usar de una red.

Los dispositivos descubren otros dispositivos y se asociarán a la red para proveer servicios complementarios. Por ejemplo, un dispositivo de control de luz ZigBee descubrirá solamente una red ZigBee de alumbrado, porque esto es lo que comprende. Sin embargo, los dispositivos pueden ser programados para funcionar en diferentes tipos de red.

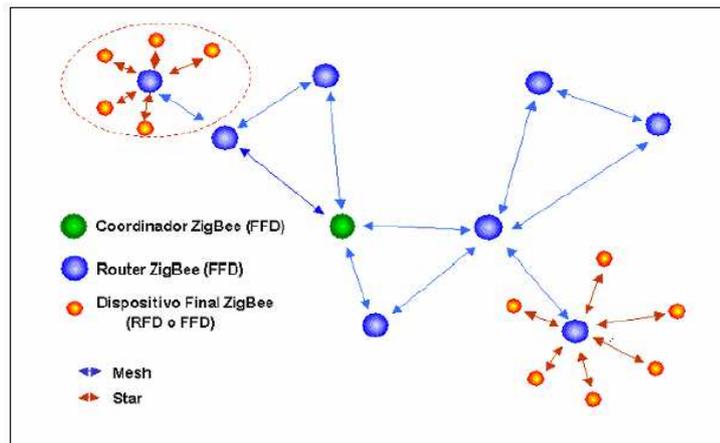


Figura II - 7 Red Típica de ZigBee

Lo mismo sirve para la unión. Los dispositivos solamente pueden comunicarse a dispositivos de una red complementaria.

2.2.5.3 Topologías de Red

Las especificaciones de este estándar permiten tres diferentes topologías de red que pueden ser implementadas dependiendo de la aplicación, y éstas son:

2.2.5.3.1 Topología en estrella

En una topología en estrella se tiene un único nodo trabajando como coordinador PAN, como se muestra en la Figura II - 8. Por lo tanto si un FFD está activado puede establecer su propia red y llegar a ser coordinador PAN, eligiendo un identificador de red. La comunicación en esta topología es centralizada, cada dispositivo (FFD o RFD) se unen a la red y si desea comunicarse con otros dispositivos debe enviar su

información al coordinador PAN, el cual enviará esta información al dispositivo correspondiente.

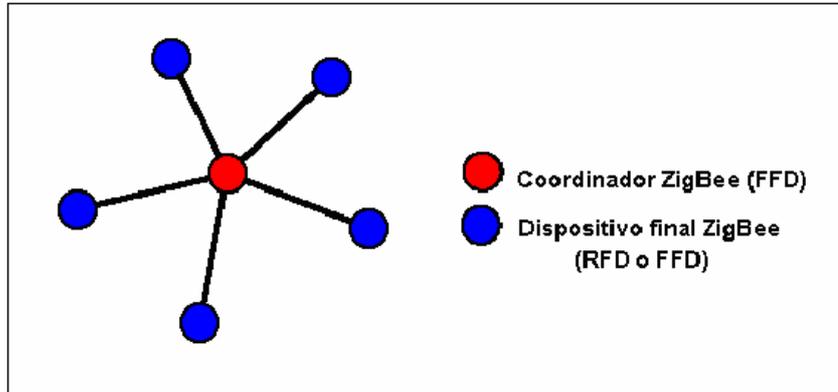


Figura II - 8 Topología en Estrella

2.2.5.3.2 Topología cluster tree

En esta topología de red se tiene la asociación de varias redes (Figura II - 9) en donde:

El coordinador PAN:

- Forma el primer cluster y se establece a sí mismo como Cluster Head (CH) con su respectivo Cluster Identifier (CID) igual a cero.
- Elige un identificador PAN.
- Envía tramas beacons a todos los dispositivos vecinos.

Las redes que deseen asociarse al cluster 0 pueden hacerlo a través de cualquier dispositivo de su red. Además, los coordinadores deben establecerse como Cluster Head y tomar su respectivo CID.

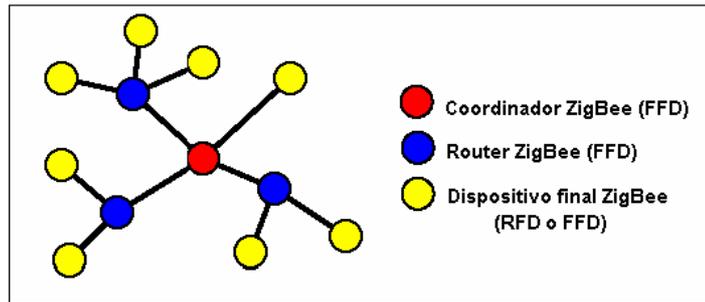


Figura II - 9 Topología Cluster-Tree

2.2.5.3.3 Topología mesh

En esta configuración hay conectividad total de todos los FFDs que conforman la red con el FFD que actúa como coordinador PAN, según muestra la Figura II - 10.

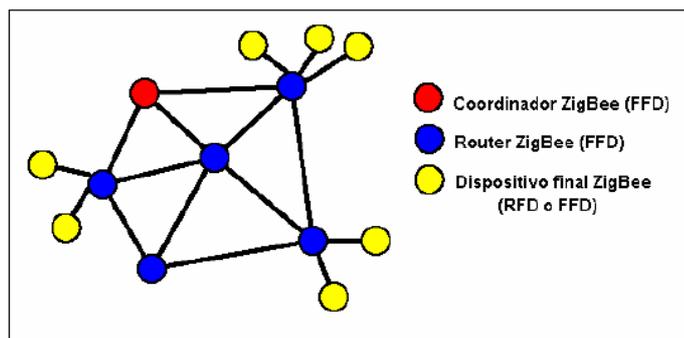


Figura II - 10 Topología Mesh

Los RFDs pueden también participar en la red pero hay solamente conectividad con los FFD y no puede participar en enrutamiento. Las ventajas de esta topología es que son confiables y el rendimiento en el proceso de información en la red se debe a las múltiples trayectorias que pueden existir.

2.2.6 MAC (Medium Access Control)

La subcapa MAC del protocolo IEEE 802.15.4 provee un interfaz entre la capa física y las capas superiores de los LR-WPANs. Presenta las siguientes características:

- Asociación/disociación
- Acuse de recibo (ACK)
- Mecanismos de acceso al canal
- Validación de trama
- Control de garantía de ranuras de tiempo (Slot Time)
- Control de guías (Beacon)
- Sondeo del canal (Scan)

MAC proporciona dos tipos de servicios hacia las capas superiores, a través de dos Puntos de Acceso a Servicios (Service Access Points, SAPs):

- A los servicios de datos MAC se acceden por medio de la parte común de la subcapa MCPS-SAP (MAC Common Part Sublayer-Service Access Point).
- Al manejo de servicios MAC se accede por medio de la capa MAC de manejo de identidades MLME-SAP (MAC Layer Management Entity-Service Access Point).

Se caracteriza por una baja complejidad; el administrador de servicios MAC tiene 26 primitivas, que comparadas con 802.15.1 (Bluetooth), que tiene alrededor de 131 primitivas para 32 tipos de eventos, el MAC de 802.15.4 es muy simple, haciéndolo muy versátil para las aplicaciones hacia las que fue orientado, aunque se pague el costo de tener un instrumento con características menores a las de 802.15.1.

2.2.6.1 Modos de Operación en ZigBee/IEEE 802.15.4

2.2.6.1.1 Modo Beacon-Habilitado

Cuando el coordinador PAN selecciona el modo de beacon-habilitado, usa la estructura de superframe para manejar la comunicación entre dispositivos. El formato de la superframe está definido por el coordinador PAN, y dicho formato se lo envía periódicamente dentro de una trama beacon al resto de dispositivos.

2.2.6.1.2 Modo Beacon-no habilitado

Cuando el coordinador PAN selecciona el modo de beacon-no habilitado los dispositivos simplemente pueden enviar sus datos mediante el mecanismo CSMA/CA no ranurado. En este tipo de modo no se utilizan superframes.

2.2.6.2 Estructura de Superframes

La supertrama está limitada por dos tramas beacon y tiene un período activo y uno inactivo como muestra la Figura II - 11.

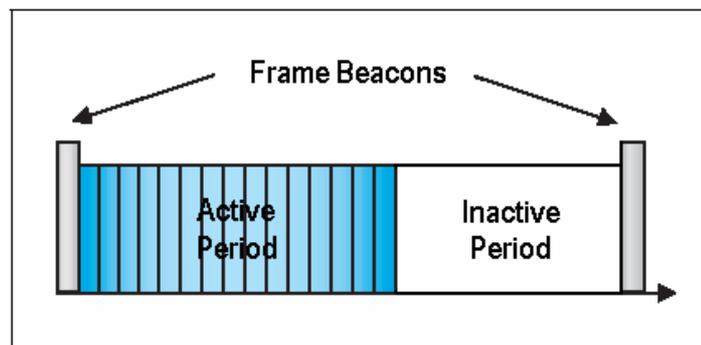


Figura II - 11 Partes de una superframe

La porción activa, independiente de la duración de cada superframe siempre está dividida en 16 slots, y todos los slots tienen igual duración. La duración de un slot viene dado por:

$$\text{Duración slots} = \text{aBaseSlotDuration} * 2SO$$

Donde:

$$\text{aBaseSlotDuration} = 60 \text{ símbolos}$$

Y cada símbolo equivale a 4 bits

La parte activa de la superframe está compuesta por tres partes como muestra la Figura II - 12:

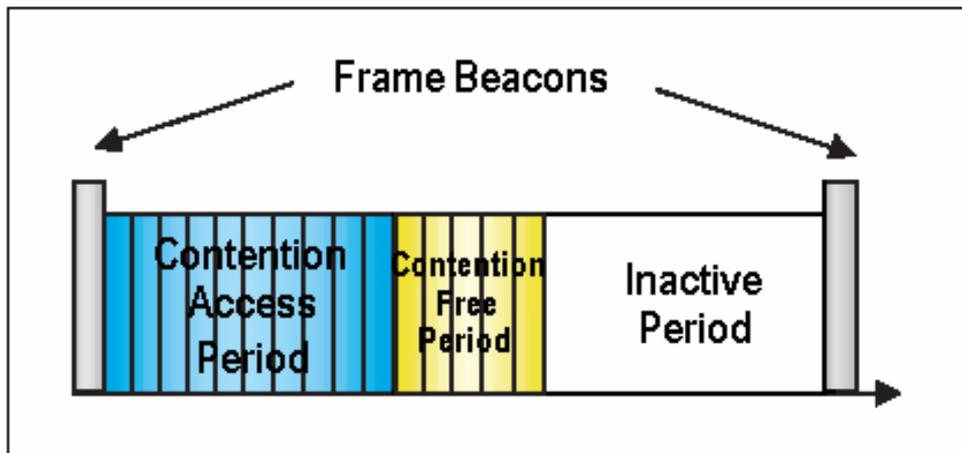


Figura II - 12 Partes del periodo activo de una superframe

- Beacon
- Contention Access Period (CAP)
- Contention Free Period (CFP)

2.2.6.2.1 Beacon

La trama beacon es transmitida sin necesidad de CSMA y ocupa el slot 0. Además contiene información referente al formato de la superframe.

2.2.6.2.2 Contention Access Period (CAP)

El CAP comienza inmediatamente después de la trama beacon y termina antes del inicio del CFP (si éste existe). Todas las transmisiones durante el CAP son hechas usando el mecanismo de acceso al canal denominado CSMA/CA ranurado. Sin embargo, las tramas ACK y los datos que siguen a una trama ACK de una petición de datos son transmitidos sin contención. Un dispositivo que no puede completar su transmisión y ya se ha llegado al final del CAP, debe postergar su transmisión hasta el CAP de la próxima superframe.

2.2.6.2.3 Contention Free Period (CFP)

El CFP consiste en Guaranteed Time Slots (GTSs) que son asignados por el coordinador PAN para aplicaciones que requieren baja latencia, un ancho de banda específico y QoS (Quality of Service).

El coordinador PAN puede asignar hasta un máximo de 7 GTSs y cada GTS solo puede ocupar un solo slot. Los GTSs solo son usados para comunicaciones entre el coordinador PAN y un dispositivo.

En ambas configuraciones (solamente CAP o CAP/CFP), la superframe puede tener un periodo inactivo durante el cual el coordinador PAN no interactúa con los dispositivos y entra en un modo de bajo consumo de energía (sleep). En estos periodos de inactividad los dispositivos ahorran energía y eso les permite extender su tiempo de vida.

La estructura de la superframe está definida por dos parámetros según muestra la Figura II - 13:

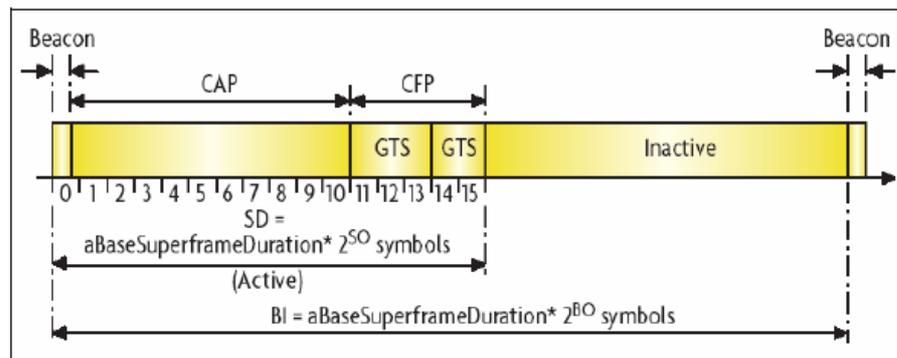


Figura II - 13 Parámetros que define una superframe

- macBeaconOrder (BO): esta característica describe el intervalo en el cual el coordinador debe enviar las tramas beacon. Dicho intervalo se denomina BI (Beacon Interval). El estándar IEEE 802.15.4 define que $0 \leq BO \leq 14$.

$$BI = aBaseSuperframeDuration * 2^{BO} \text{ símbolos}$$

• **macSuperframeOrder (SO)**: Esta característica describe el largo de la porción activa de la superframe, la cual incluye a la trama beacon inicial. La duración de esta porción se denomina SD (Superframe Duration). El estándar IEEE 802.15.4 define que $0 \leq SO \leq BO$.

$$SD = aBaseSuperframeDuration * 2SO \text{ símbolos}$$

El estándar IEEE 802.15.4 define que:

$$aBaseSuperframesDuration = aBaseSlotDuration * aNumSuperframeSlots$$

Donde:

$$aBaseSlotDuration = 60 \text{ símbolos}$$

$$aNumSuperframeSlots = 16 \text{ slots}$$

Por lo tanto:

$$aBaseSuperframesDuration = 960$$

Con lo que se tiene:

$$BI = 960 * 2BO \text{ símbolos}$$

$$SD = 960 * 2SO \text{ símbolos}$$

$$0 \leq BO \leq 14$$

$$0 \leq SO \leq BO$$

Como se dijo anteriormente, el beacon inicial de una Superframe, es transmitida por el coordinador PAN en intervalos definidos.

Estos intervalos pueden ser:

Desde 15 ms hasta 245 s en 2.4 GHz

Desde 96 ms hasta 1573 s en 915 MHz

Desde 192 ms hasta 3146 s en 868 MHz

2.2.6.3 Mecanismos de Acceso al Medio

El estándar 802.15.4 define dos versiones del mecanismo CSMA/CA:

- EL CSMA/CA ranurado, usado en el modo de operación beacon-habilitado.
- EL CSMA/CA no ranurado, usado en el modo de operación beacon-no habilitado.

En ambos casos, el dispositivo escucha el canal, si éste está ocupado, entonces el algoritmo CSMA/CA le asigna un número de períodos de backoff (cada periodo igual a 20 símbolos) que deberá esperar antes de sondear nuevamente el canal.

En CSMA/CA ranurado, cada dispositivo debe esperar para sondear el canal y esto debe coincidir con el comienzo de un nuevo slot de la superframe.

En CSMA/CA no ranurado esto no sucede pues no se utilizan superframes.

2.2.6.4 Separación entre Tramas

El período IFS (Inter Frame Spacing) define la cantidad de tiempo que separa dos tramas consecutivas. La subcapa MAC necesita una cantidad de tiempo para procesar los datos recibidos por la capa física.

El largo del IFS depende del tamaño de la trama emitida. Las tramas de tamaño menor a 18 bytes estarán seguidas de un período IFS igual a 12 símbolos, mientras que las tramas mayores a 18 bytes estarán seguidas por un período IFS igual a 40 símbolos.

2.2.6.5 Sondeo de Canales

El sondeo de canales es utilizado para identificar la existencia de redes PAN antes de la asociación o para crear una nueva PAN. El estándar define cuatro tipos de sondeo de canal.

2.2.6.5.1 Sondeo de canal ED (Energy Detection)

Este sondeo permite a un FFD obtener una medida de la señal en el canal. Esto es utilizado por un futuro coordinador PAN para seleccionar un canal apropiado en el cual operar y formar una nueva red.

2.2.6.5.2 Sondeo de canal activo

Un FFD realiza un sondeo activo del canal para localizar alguna trama beacon transmitida por un coordinador dentro de su rango de operación. Este sondeo es iniciado por el dispositivo mismo enviado tramas de petición de beacon. Este sondeo puede ser usado por:

- Un futuro coordinador para seleccionar un identificador PAN antes de formar una nueva red.
- Un dispositivo que desee asociarse a una red.

2.2.6.5.3 Sondeo de canal pasivo

Este sondeo permite a un dispositivo localizar alguna trama beacon transmitida por un coordinador pero sin que el dispositivo envíe tramas de petición de beacon.

Este tipo de sondeo puede ser usado por un dispositivo previo a la asociación.

2.2.6.5.4 Sondeo de canal Orphan

Un sondeo orphan permite a un dispositivo intentar relocalizar a su coordinador después de una pérdida de sincronización. Por cada canal, se envían tramas de notificación de orphan en donde solo su coordinador podrá responder.

2.2.6.6 Creación de una Red

Una PAN puede ser creada solamente por un dispositivo FFD después de realizado un sondeo de canal (ED o activo), procedimiento en el cual el dispositivo ha elegido un canal y un identificador PAN.

Una vez creada la PAN, el coordinador genera y envía tramas beacon para manejar la asociación y disociación de otros dispositivos proveyendo servicios de sincronización permitiendo la asignación y el manejo de GTSS.

2.2.6.6.1 Generación de beacon

A un FFD le está permitido generar y enviar tramas beacon solo si previamente cumple al menos una de las siguientes condiciones:

- El FFD es el coordinador PAN de una nueva red.
- El FFD es un dispositivo asociado en una PAN previamente establecida.

2.2.6.6.2 Descubrimiento de un dispositivo

Una vez que un FFD está satisfactoriamente asociado con una PAN, puede indicar su presencia mediante el envío de tramas beacon para informar a otros dispositivos su presencia.

2.2.6.6.3 Asociación de un dispositivo

La asociación comienza con un sondeo activo o pasivo, luego de terminado el sondeo, el dispositivo selecciona el identificador PAN de la red a la que desea asociarse, entonces envía un paquete de datos al correspondiente coordinador solicitando la asociación.

Si esta petición es recibida correctamente el coordinador envía una trama ACK, para así confirmar la asociación. Sin embargo, el ACK de una petición de asociación no quiere decir que el dispositivo fue asociado; en efecto el coordinador necesita tiempo para procesar la petición y determinar si los actuales recursos de la PAN son suficientes para permitir otra asociación.

Si los recursos disponibles son suficientes, el coordinador envía una trama de respuesta de asociación que contiene la nueva dirección del dispositivo dentro de la red y el estado del dispositivo asociado. Si los recursos no son suficientes para permitir la nueva asociación, el coordinador envía una trama de respuesta de asociación con el estado de fallo en la asociación.

2.2.6.6.4 Disociación de un dispositivo

El proceso de disociación puede ser iniciado por el coordinador o el dispositivo mismo.

2.2.6.6.4.1 Coordinador inicia la disociación

Si el coordinador quiere disociar a uno de sus dispositivos, le envía una trama con esta notificación; cuando el dispositivo recibe esta notificación envía un ACK confirmando su recepción, si el ACK no es recibido por el coordinador, éste considera que el dispositivo está disociado, y todas las referencias con respecto a él son borradas de la PAN.

2.2.6.6.4.2 Dispositivo inicia la disociación

Si un dispositivo quiere dejar la red envía una notificación con este pedido al coordinador PAN.

Una vez que el coordinador recibe esta notificación envía un ACK al dispositivo confirmando su recepción. Si el ACK no es recibido por el dispositivo, este se

considerará disociado. Y todas las referencias acerca de la PAN serán removidas por el dispositivo.

2.2.6.6.5 Sincronización

Se definen mecanismos para sincronizar el coordinador con sus dispositivos asociados, estos mecanismos de sincronización dependen del modo de operación de la PAN

2.2.6.6.5.1 Sincronización en una red con modo beacon-habilitado

Todos los dispositivos asociados deben recibir y descifrar las tramas beacon de su coordinador y así sincronizar sus transmisiones.

2.2.6.6.5.2 Sincronización en una red con modo beacon-no habilitado

En este modo de beacon-no habilitado, la sincronización es ejecutada mediante poleo al coordinador por datos.

2.2.6.6.5.3 Sincronización de dispositivos orphaned

Un dispositivo declara que ha llegado a ser orphan si ha fallado un número predeterminado de intentos por comunicarse con el coordinador.

Si un dispositivo llega a esta conclusión, realiza un sondeo de canal orphan, si este sondeo fue satisfactorio entonces la PAN fue localizada, y el dispositivo debe actualizar la información referente a su red.

Por otro lado, si el sondeo falla las capas superiores deben decidir si se realizará un nuevo sondeo o si el dispositivo intenta re-asociarse a la red.

2.2.6.6.6 Transmisión y recepción de dato

2.2.6.6.6.1 Transmisión de datos

La transmisión de datos depende del modo de operación de la PAN. En una PAN con beacon-habilitado un dispositivo que desee transmitir información debe localizar tramas beacon de su coordinador y enviar la información de acuerdo con la estructura de la superframe usando CSMA/CA ranurado (esto en el CAP, en CFP no realiza se contención).

En una PAN con beacon-no habilitado los dispositivos usan CSMA/CA no ranurado.

En las Figuras II - 14, II - 15, II - 16 y II - 17 se tienen los esquemas y comandos que se usan en la transferencia de información una vez que se ha accedido al canal:

- Transferencia de datos al coordinador

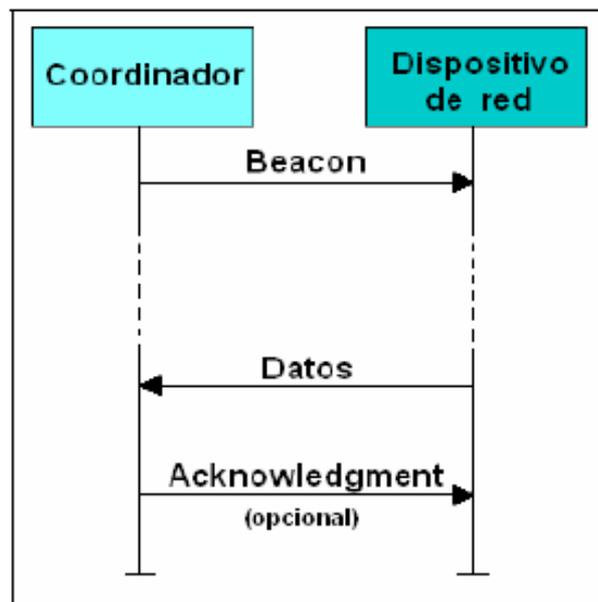


Figura II - 14 Transferencia de datos en modo beacon-habilitado

- Transferencia de datos desde el coordinador

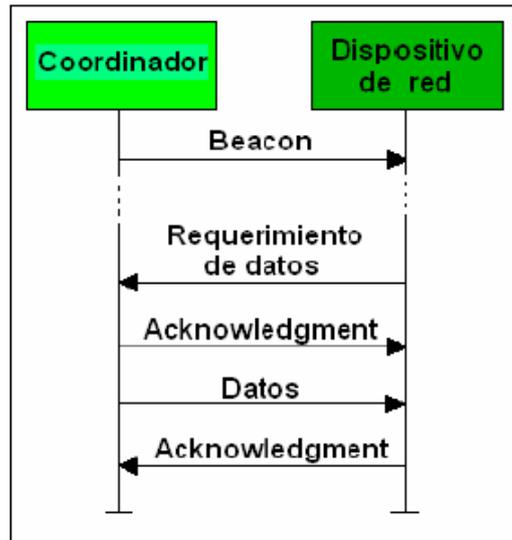


Figura II - 15 Transferencia de datos en modo beacon-no habilitado2

2.2.6.6.2 Recepción de datos

Cualquier dispositivo puede recibir transmisiones de otros dispositivos, pero solo aceptará las tramas que estén dirigidas hacia él.

2.2.6.6.3 Extracción de datos pendientes desde el coordinador

Este mecanismo de comunicación es llamado transmisión indirecta; un dispositivo dado patea a su coordinador por información pendiente.

En una PAN un dispositivo está enterado si tiene alguna trama pendiente al examinar el contenido de una trama beacon recibida.

Si su dirección está en el campo de direcciones pendientes, el dispositivo envía una petición de datos al coordinador.

Si esta petición es correctamente recibida por el coordinador, éste envía un ACK al dispositivo confirmando su recepción, entonces se prepara para recibir la información del coordinador.

2.2.6.7 Estructura de las Tramas MAC

El formato general de las tramas MAC se diseñó para ser muy flexible y que se ajustara a las necesidades de las diferentes aplicaciones con diversas topologías de red, al mismo tiempo que se mantenga un protocolo simple.

- Data Frame: usado para todas las transferencias de datos.
- Acknowledgment Frame: usado para confirmar la recepción exitosa de la trama.
- MAC Command Frame: usado para manejar todo el control de entidad MAC.
- Beacon Frame: usado por un Coordinador para transmitir beacons

2.2.6.7.1 Estructura de la trama de Datos (Data Frame)

La estructura de la trama de datos es como lo muestra la Figura II - 16 a continuación:

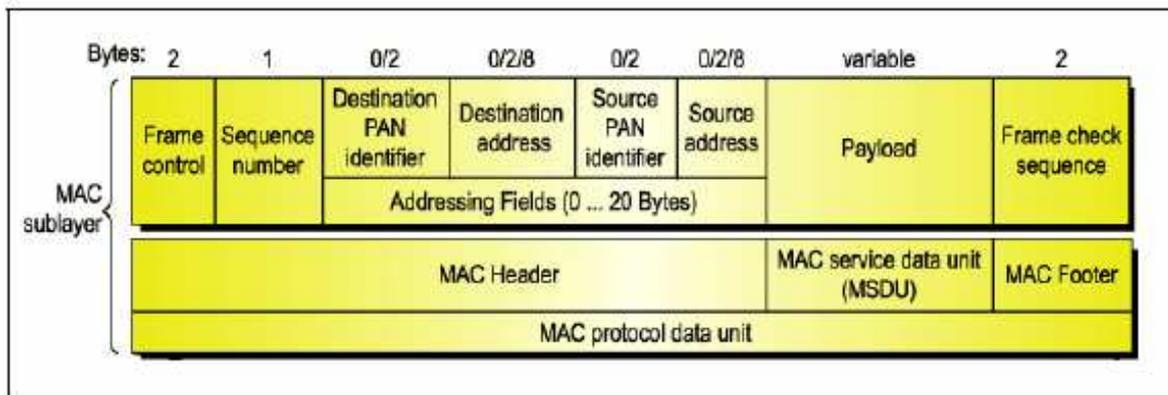


Figura II - 16 Formato general de la trama MAC1

2.2.6.7.1.1 MAC Header

- Frame Control: Este campo contiene información que define el tipo de trama que se está transmitiendo.

- **Sequence Number:** Este campo especifica el identificador de secuencia único de cada trama. Una transmisión se considera exitosa solo cuando la trama ACK contiene la misma secuencia de números que la secuencia anterior transmitida.
- **Destination PAN Identifier:** Especifica el identificador único de la PAN a la que va dirigida la trama.
- **Destination Address:** Especifica la dirección del dispositivo a la que va dirigida la trama.
- **Source PAN Identifier:** Es el identificador único de la PAN que origina la trama.
- **Sources Address:** Especifica la dirección del dispositivo que origina la trama.

2.2.6.7.1.2 MAC Service Data Unit

- **Payload:** Es de longitud variable; y contiene información según el tipo de trama. Además solo las tramas de datos y beacon contienen información proveniente de las capas superiores.

2.2.6.7.1.3 MAC Footer

- **FCS (Frame Check Sequence):** Este campo contiene el CRC (Cyclic Redundancy Check).

2.2.6.7.2 Estructura de la trama Beacon (Beacon Frame)

La estructura de la trama de beacon es como lo muestra la Figura II – 17, a continuación:

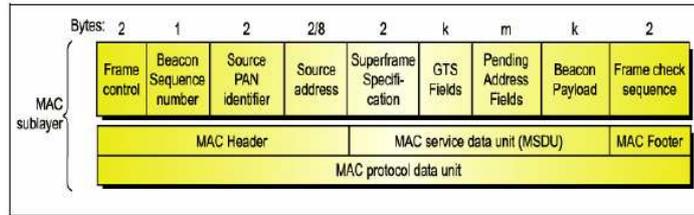


Figura II - 17 Formato general de la trama Beacon1

El MAC Header y el MAC Footer son los mismos presentados en el formato general de la trama.

2.2.6.7.2.1 MAC Service Data Unit

- Superframe Specification: Este campo especifica parámetros de la superframe.
- GTS Fields: Contiene información acerca de los GTSs asignados por el coordinador.
- Pending Address: Contiene información acerca de los dispositivos que tienen datos pendientes en el coordinador.
- Beacon Payload: Contiene información proveniente de las capas superiores

2.2.6.7.3 Estructura de la trama ACK (Acknowledgment Frame)

En el campo Sequence Number se tiene el valor del número de secuencia de la trama que ha sido recibida por el dispositivo.

Su estructura se muestra en la Figura II - 18.

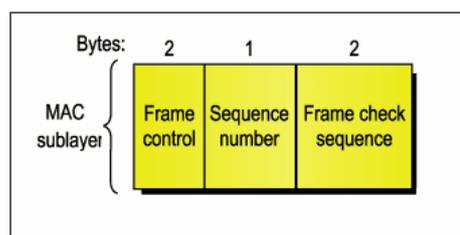


Figura II - 18 Formato general de la trama ACK1

2.2.6.7.4 Estructura de la trama de Comandos MAC (MAC Command Frame)

La trama de Comandos MAC es un mecanismo para el control y configuración de los dispositivos.

Permite que un coordinador pueda configurar a los dispositivos individualmente sin importar lo grande que sea la red.

Su estructura se muestra en la Figura II – 19.

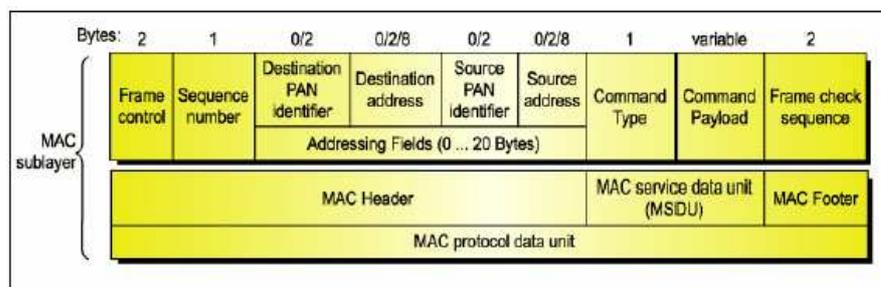


Figura II - 19 Formato general de la trama de comandos1

- Command Type: Este campo indica el tipo de comando que se ha generado.
- Command Payload: Este campo contiene información referente al comando generado.

Independiente del tipo de trama MAC que se envíe, esta trama no debe exceder los 127 Bytes de longitud.

2.2.7 Capa Física (physical layer)

La capa física es la responsable de la transmisión y la recepción de datos en un canal de radio y acorde con las técnicas de modulación y spreading. La IEEE 802.15.4 ofrece tres bandas de frecuencia en las cuales operar: 2.4 GHz, 915MHz y 868 MHz.

La frecuencia de 2.4 GHz, específica la operación en la banda Industrial, Médica y Científica (ISM), que prácticamente está disponible en todo el mundo, mientras que la frecuencia de 865 MHz opera en Europa y 915 MHz en Estados Unidos. El estándar IEEE 802.15.4 utiliza la técnica DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) para transmitir la información a través del medio. Además, las velocidades de transmisión son de 250 Kbps en la banda de 2.4 GHz, 40 Kbps en la banda de 915 MHz y 20 Kbps en la banda de 868 MHz.

Las características de cada frecuencia están resumidas en la siguiente Tabla II - I:

Tabla II - I Parámetros técnicos según las frecuencias¹

Banda de Frecuencia (MHz)	Parámetros de Datos	
	Velocidad de bits (Kbps)	Modulación
868	20	BPSK
915	40	BPSK
2400	250	O-QPSK

Los diferentes rangos de transmisión se pueden explotar para lograr una variedad de aplicaciones con una velocidad efectiva. Por ejemplo, la capa física a 868/915 MHz se puede ocupar para lograr mayor sensibilidad y mayores áreas de cobertura, con lo que se reduce el número de nodos requeridos para cubrir una área geográfica, mientras que el rango superior de transmisión en la capa física a 2.4 GHz se puede utilizar para conseguir mayor velocidad de transmisión.

2.2.7.1 Características de la capa física

- Activación/desactivación del transceiver
- Detección de energía (ED)
- Indicador de calidad del enlace (LQI)
- Prueba de clear channel (CCA)
- Transmisión y recepción de paquetes a través del medio físico

2.2.7.1.1 Activación y desactivación del radio transceiver

El radio transceiver puede operar en uno de estos tres estados: transmitiendo, recibiendo o en modo sleeping. El tiempo que el dispositivo tarda de transmitir a recibir o viceversa no debe exceder los 12 símbolos de acuerdo al estándar.

2.2.7.1.2 Detección de energía (ED) en el canal

Es una estimación de la señal recibida, y ese valor es analizado con respecto a un valor umbral predeterminado (umbral ED). Esta medida es usada para la selección de canal, y por CCA (Clear Channel Assessment) para determinar si el canal está libre u ocupado.

2.2.7.1.3 Indicador de calidad del enlace

LQI (Link Quality Indication) indica la medida de fuerza/calidad del paquete recibido, esta medida puede ser implementada usando detección de energía (ED).

2.2.7.1.4 Clear Channel Assessment (CCA)

Esta operación es responsable de reportar el estado de actividad en el medio (libre u ocupado). EL CCA tiene tres modos de operación:

2.2.7.1.4.1 Modo de detección de energía

El CCA reporta que el canal está ocupado si el valor de la energía detectada está sobre el umbral ED.

2.2.7.1.4.2 Modo de sondeo de carrier

El CCA reporta que el canal está ocupado solamente si detecta una señal con las técnicas de modulación y spreading establecidas por el IEEE 802.15.4, sea que esta señal esté sobre o debajo del umbral ED.

2.2.7.1.4.3 Sondeo de carrier con detección de energía

Esta es una combinación de las técnicas ya mencionadas, el CCA reporta que el canal está ocupado solamente si detecta una señal con las técnicas de modulación y spreading establecidas por el IEEE 802.15.4, y que este valor de energía esté sobre el umbral ED.

2.2.7.1.5 Selección de la frecuencia del canal

IEEE 802.15.4 define 27 canales diferentes; por lo tanto, la capa física debe sintonizar al dispositivo dentro del canal a utilizarse.

2.2.7.2 Paquete de Capa Física (PHY)

La estructura de la trama de capa física es como lo muestra la Figura II – 20 a continuación:

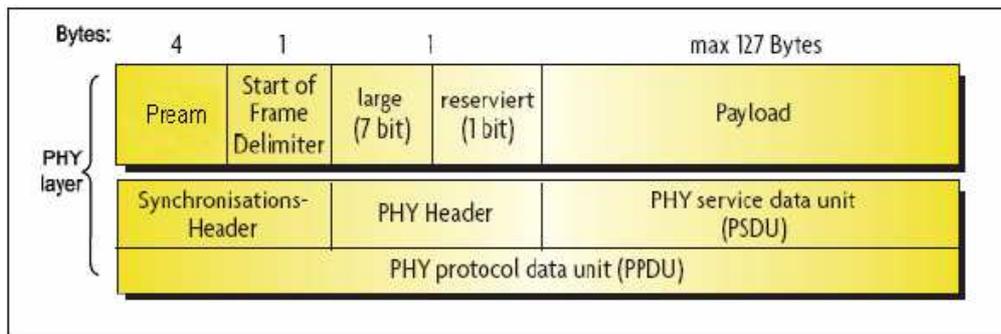


Figura II - 20 Estructura del paquete de capa física1

2.2.7.2.1 Synchronization HeadeR (SHR)

Este campo es usado la para la sincronización de la trama.

2.2.7.2.2 Phy HeadeR (PHR)

Especifica el largo de la PSDU.

2.2.7.2.3 Phy Service Data Unit (PSDU)

En el campo de datos de la capa física se encapsula a la trama MAC cuyo valor máximo debe ser de 127 bytes. Así que el paquete máximo de capa física será de 133 bytes. Con lo que las duraciones máximas de los paquetes son de:

- 4.25 ms para 2.4 GHz
- 26.6 ms para 915 MHz
- 53.2 ms para 868 MHz

2.2.7.3 Canales IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 define 27 canales de frecuencia entre las tres bandas, como lo muestra la Figura II - 21.

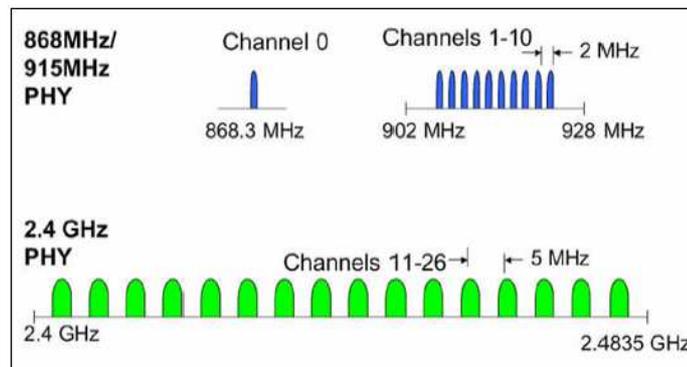


Figura II - 21 Estructura de canales de IEEE 802.15.41

- La banda 868 MHz soporta un solo canal entre los 868 y los 868.6 MHz.
- La banda 915 MHz soporta diez canales entre los 902.0 y 928.0 MHz, con un espacio entre canales de 2 MHz.
- La banda de 2.4 GHz soporta 16 canales entre 2.4 y los 2.4835 GHz, con un espacio entre canales de 5 MHz.

En la tabla II - II, se muestra el cálculo de las frecuencias centrales de los diferentes canales.

Tabla II - II Frecuencias de canales IEEE 802.15.4

Número de Canales	Frecuencia central del Canal (MHz)
K = 0	868.3
K = 1,2,...10	$906 + 2 (k - 1)$
K = 11,12,...26	$2405 + 5 (k - 11)$

2.2.7.4 Modulación

Si se emplean las frecuencias de 915 MHz y 868 MHz la señal es modulada con BPSK (Binary Phase Shift Keying). Mientras que a la frecuencia 2.4 GHz se emplea una técnica de modulación O-QPSK.

En términos de eficiencia (energía requerida por bit), la modulación ortogonal mejora su funcionamiento en 2 dB que BPSK. Sin embargo, en términos de sensibilidad de recepción, a las frecuencias 868MHz y 915 MHz se tiene una ventaja de 6-8 dB debido a que tiene velocidades de transmisión más bajas.

2.2.7.5 Sensibilidad y Potencia

Las especificaciones de sensibilidad de IEEE 802.15.4 especifican -85 dBm para la frecuencia de 2.4 GHz y de -92 dBm para las frecuencias de 868 y 915 MHz.

Dichos valores incluyen suficiente margen para las tolerancias que se requieren debido a las imperfecciones en la fabricación, de la misma manera que permite implementar aplicaciones de bajo costo.

El estándar IEEE 802.15.4 especifica que cada dispositivo debe de ser capaz de transmitir al menos a 1 mW, pero dependiendo de las necesidades de la aplicación, la potencia de transmisión puede variar.

Los dispositivos típicos (1mW) se espera que cubran un rango de entre 10 y 75 m; sin embargo, con una buena sensibilidad y un incremento moderado en la potencia de transmisión, se obtiene mayores coberturas.

2.2.7.6 Interferencia para otros Dispositivos

Los dispositivos que operan en la banda de 2.4 GHz pueden recibir interferencias causadas por otros servicios que operan en dicha banda.

Esta situación es aceptable en las aplicaciones que utilizan el estándar IEEE 802.15.4, pues éstas no requieren una alta calidad de servicio (QoS), y a demás se espera que realicen varios intentos para completar la transmisión de información.

2.2.8 Tipos de Tráfico

Estos tipos de tráfico son atributos diferentes de la subcapa MAC, siendo esta lo suficientemente flexible para manejar a cada uno de estos.

2.2.8.1 Datos Periódicos

Este tipo de tráfico se maneja usando el modo de beacon-habilitado donde el sensor se despertará debido a la recepción de una trama beacon, momento que utilizara para verificar cualquier tipo de mensaje y luego volverá a dormir nuevamente. Ej. Sensores

2.2.8.2 Datos Intermitentes

Esta información se maneja usando el modo de beacon-no habilitado. En este modo el dispositivo sólo se comunicará con la red cuando necesite informar la cantidad de energía sobrante en el mismo. Ej. Interruptores de luz.

2.2.8.3 Datos repetitivos de baja velocidad

Para estos datos de baja latencia se usa el modo de beacon-habilitado y se utilizan los GTSs, que permiten que cada dispositivo transmita datos sin realizar contención. Ej. Mouse (PC)

2.2.9 Ruteo de Red

La capa red puede utilizar tres algoritmos de ruteo.

- AODV (Ad hoc on-demand distance vector)
- Cluster-Tree propuesto por Motorola
- GRAd propuesto por Ember.

2.2.9.1 Algoritmo de Ruteo Aodv (ad hoc on-demand distance vector)

Una de las características que define a AODV es el uso de tablas de encaminamiento en cada nodo para evitar transportar información de rutas en los paquetes. Cada destino de la tabla de encaminamiento lleva asociado un número de secuencia y un temporizador o lifetime. Este número permite distinguir entre información nueva e información antigua, de tal manera que se evita la transmisión de rutas antiguas o caducadas por la red. La función del temporizador es evitar que los paquetes recorran indefinidamente por la red si no han encontrado su destino.

AODV no mantiene rutas para cada nodo de la red. Estas rutas son descubiertas según se vayan necesitando. AODV es capaz de proveer transmisión unicast, multicast y broadcast. Los descubrimientos de rutas son siempre bajo demanda y siguen un ciclo de petición/respuesta de ruta. Las peticiones son enviadas usando un paquete especial denominado RREQ (Route Request).

A su vez, las respuestas son enviadas en un paquete denominado RREP (Route Reply). A continuación se resume la secuencia de pasos para descubrir una ruta:

- Cuando un nodo desea conocer una ruta hacia un nodo destino, envía por broadcast un RREQ.
- Cualquier nodo que conozca una ruta hacia el destino solicitado (incluido el propio destino) puede contestar enviando un RREP.
- Esta información viaja de vuelta hasta el nodo que originó el RREQ y sirve para actualizar las rutas de los nodos que lo necesiten.
- La información recibida por el nodo destino del RREP se almacena en su tabla de encaminamiento.
- Ahora, el nodo ya podría encaminar su paquete de datos, pues ya conoce un camino hacia su destino.

2.2.9.2 Algoritmo Cluster Tree

Cluster-tree es un protocolo de enlace lógico a nivel de capa red.

2.2.9.2.1 Proceso de selección de Cluster Head (CH)

Después de que un nodo se enciende, sondea los canales en busca de mensajes HELLO provenientes de otros nodos. Si no obtiene ningún mensaje en un determinado tiempo entonces se considera como CH (Cluster Head), y envía mensajes HELLO a sus vecinos.

EL nuevo CH espera la respuesta de sus vecinos durante un tiempo determinado, si no ha recibido ningún mensaje de Connection Request (CON REQ) regresa a ser un nodo común y vuelve a escuchar, proceso que se puede observar en la Figura II - 22.

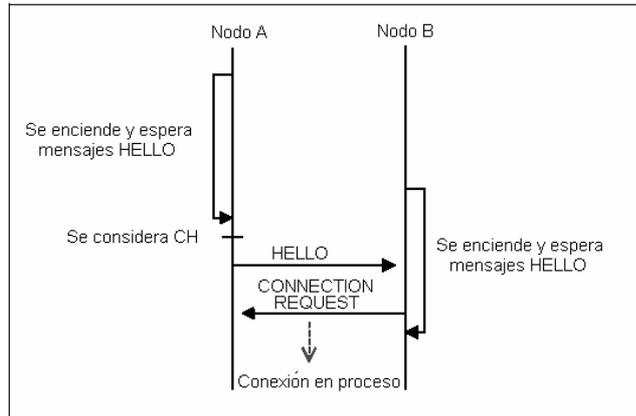


Figura II - 22 Esquema de selección de cabecera de cluster

2.2.9.2.2 Red cluster tree simple

Después de que un nodo es seleccionado como CH, envía periódicamente mensajes HELLO que contienen la dirección MAC del CH y el indicador de nodo 0 (Identifier; ID 0) que lo caracteriza ante todos los nodos restantes como CH. El nodo que recibe el mensaje HELLO envía un CON REQ al CH.

Cuando el CH recibe el CON REQ éste le responde al nodo con un mensaje Connection Response (CON RES) el cual contiene el ID que el CH le asigna al nodo (ID que corresponde a la dirección corta de la capa MAC). El nodo que recibe este ID envía a la CH un ACK, confirmando el éxito del envío. Este proceso se lo puede ver la Figura II - 23.

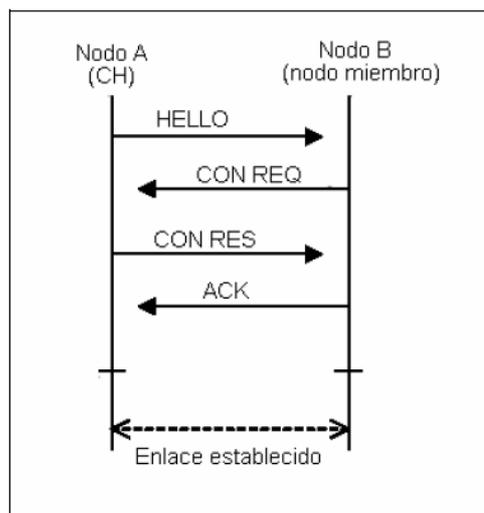


Figura II - 23 Enlace entre canal y nodo miembro

Si todos los nodos están localizados dentro del rango del CH, y a un salto de él (los fabricantes pueden limitar las características de los dispositivos para que soporten solo un salto) la topología formada se denomina star. En este caso el número máximo de nodos es de 245 incluyendo el CH.

La lista de dispositivos vecinos que contiene el CH es actualizada periódicamente con ayuda de mensajes HELLO. Si un dispositivo entra a la red y no se actualiza hasta un cierto tiempo límite, es eliminado.

Si la topología de red cambia entonces es requerido que el CH envíe a los nodos el mensaje Topology Update para que se reporten al CH y así actualizar las listas de ruteo, procedimiento igual se sigue si algún miembro por alguna circunstancia deshabilita su comunicación, el CH sabrá la presencia de estos problemas gracias al envío periódico de LS REP que los dispositivos realizan.

Cuando el CH tiene problemas los mensajes HELLO cesan entonces los nodos saben que han perdido a su CH, con lo que el cluster debe ser configurado eligiendo a un nuevo CH con el procedimiento visto anteriormente.

2.2.9.2.3 Red cluster tree múltiple

Un cluster puede expandirse hasta una estructura de multi-salto, cuando cada nodo puede soportar múltiples conexiones. El procedimiento para establecer una red cluster tree múltiple se la describe en la Figura II - 24. Después de que el nodo

B ha establecido un enlace con el CH, comienza a retransmitir mensajes Hello provenientes del CH. Cuando el nodo C obtiene este mensaje, envía al nodo B un CON REQ.

Entonces el nodo B hace una petición de un ID nuevo al CH para el nodo C mediante un Node ID Request (NID REQ). El nodo B recibe el nuevo ID desde el CH mediante un Node ID Responce (NID RES), y le envía esta información al nodo C mediante un CON

RES. Entonces el nodo C le envía al nodo B un ACK, y este a su vez le envía un ACK al CH.

Una vez que queda establecido el enlace el nodo C comienza a retransmitir mensajes Hello dándose a conocer de esta manera en la red.

Cuando un nodo recibe algunos mensajes Hello de diferentes nodos, solo responde al primer mensaje, porque tiene la posibilidad de que una vez establecido el enlace esta sea la ruta más corta al CH. Este proceso de expansión puede continuar hasta que el CH agote todas los IDs.

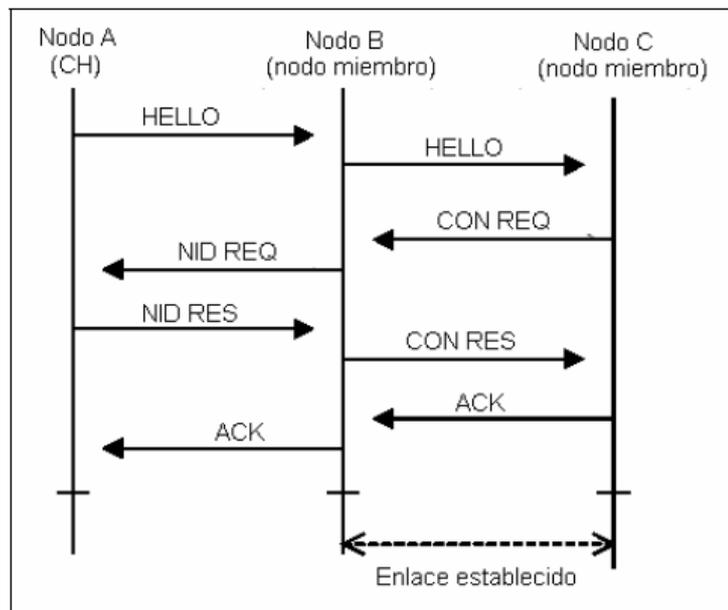


Figura II - 24 Procedimiento de enlace en red multi cluster

2.2.9.2.4 Redes Inter Cluster

Para formar una red, es necesario designar un Designated Device (DD). El DD tiene la responsabilidad de asignar un ID de cluster único para cada CH. Este ID de cluster mas el ID del nodo que es asignado por el CH dentro de su cluster forman un direccionamiento lógico usado para el ruteo de paquetes.

2.2.9.2.4.1 Asignación de Cluster ID

Cada nodo es único debido a la combinación del identificador de cluster CID con el identificador del nodo NID. El NID es asignado por cada CH y el DD asigna un único CID a cada cluster al inicio de la formación de la red Inter-cluster.

Cuando el DD se une a la red, actúa como CH de cluster 0 y comienza a enviar mensajes HELLO a sus vecinos. Si una cabeza CH ha recibido este mensaje envía un CON REQ y se une al cluster 0.

En este caso el CH es un nodo borde y tiene dos direcciones lógicas. Una es por ser nodo miembro del cluster 0 y el otro es por ser CH. Cuando el CH obtiene su nuevo CID, lo informa a sus nodos miembros mediante mensajes HELLO. Esto se lo puede observar en la Figura II - 25.

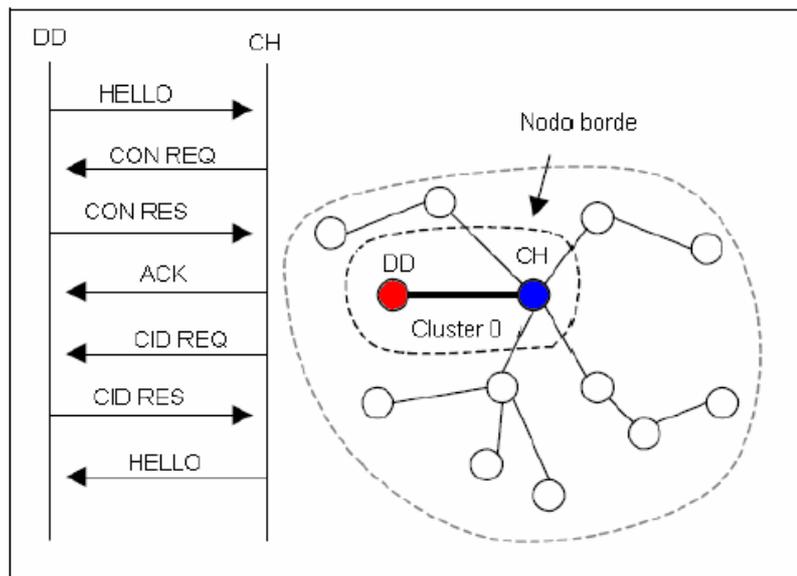


Figura II - 25 Asignación de CID (1)

Si un nodo ha recibido un mensaje de HELLO desde el DD, lo añade a su lista de vecinos y lo reporta a su CH mediante un Link State Report (LS REP). Este CH nombra a este nodo como nodo borde y envía le un Network Connection Request (NET CON REQ) para que establezca una conexión con el DD. El nodo borde le envía al DD un

CON REQ y se une al cluster 0 como nodo miembro. Entonces el nodo borde le envía al DD un CID REQ; después de que el CID RES llega desde el DD, el nodo borde envía a su CH un Network Connection Responce (NET CON RES), mismo que contiene el nuevo CID del CH. Cuando el CH obtiene su nuevo CID informa a sus nodos miembros mediante mensajes HELLO. Esto se resume mediante la Figura II -26.

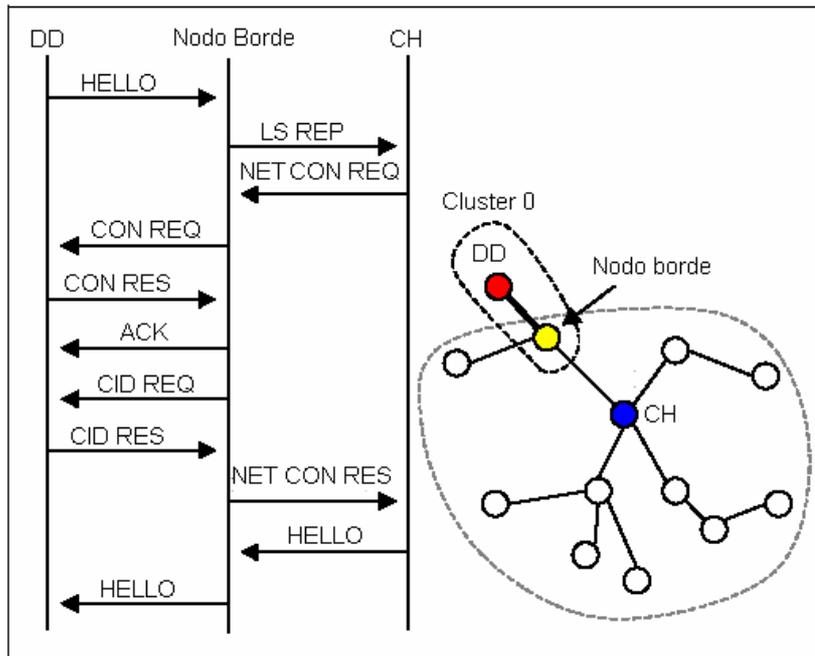


Figura II - 26 Asignación de CID (2)

Los clusters que no posean nodos que puedan ser nodos borde del cluster 0 usan clusters intermedios para obtener un CID, y se pueden presentar dos casos:

- El un caso es cuando el CH llega a ser nodo borde
- El otro caso es cuando en nodo miembro de un CH llega a ser nodo borde

En las Figuras II -27 y II -28 se tienen estos casos, además se muestran los esquemas de conexión.

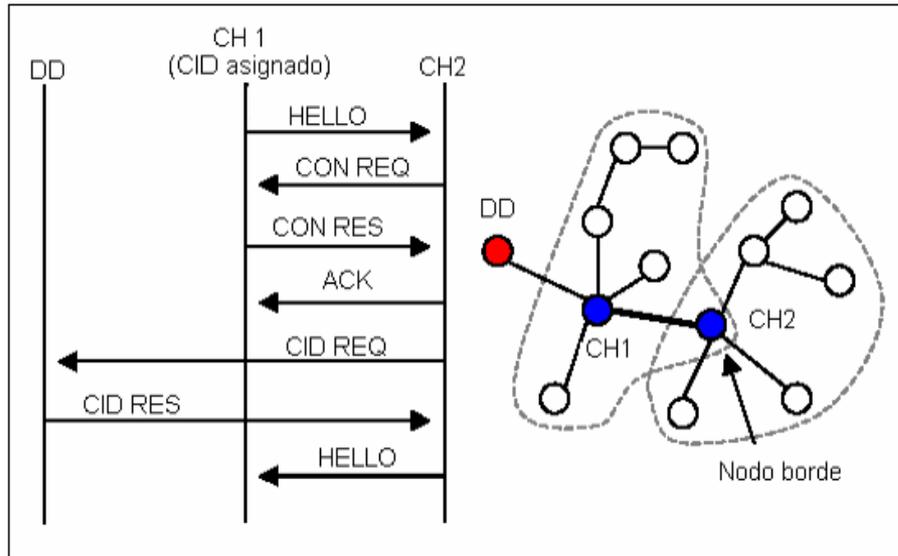


Figura II - 27 Asignación de CID (3)

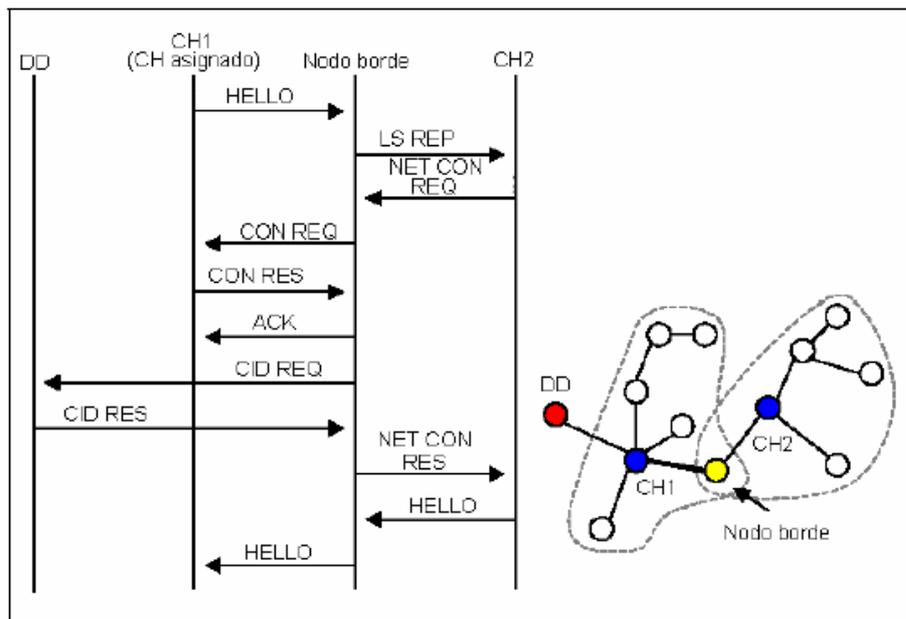


Figura II - 28 Asignación de CID (4)

Cada nodo miembro debe recordar al cluster al que pertenece y a los IDs de los nodos borde asociados a los diferentes clusters. Por lo que el DD conoce la estructura completa de la red. Como los nodos en los clusters los CHs reportan información acerca del estado de sus enlaces al DD. El CH envía periódicamente Network Link State Report (NET LS REP) que contiene los CID de nodos miembros. Con lo que esta información es utilizada para optimizar las rutas de envío de paquetes. Las

comunicaciones inter-cluster en una red multi-cluster (Figura II -29) se realizan mediante ruteo, los nodos bordes actúan como routers que conectan los clusters y envían paquetes. Cuando un nodo borde recibe un paquete examina la dirección destino entonces lo envía al siguiente nodo del cluster adyacente o al nodo destino dentro del clusters.

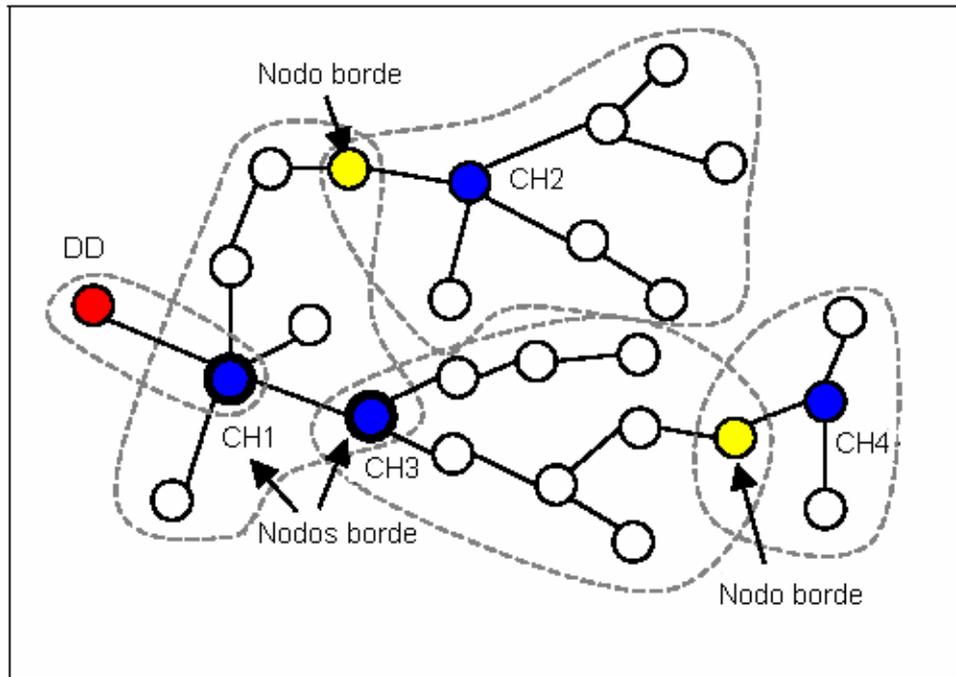


Figura II - 29 Red multi cluster y nodos borde

Solo el DD puede enviar mensajes a todos los nodos dentro de la red, envía el mensaje a los nodos borde y estos los envían a todos los nodos dentro del cluster.

2.2.9.3 Algoritmo GRAd

Este es un algoritmo de asignación de rutas totalmente dinámico, siendo también un esquema de descubrimiento bajo demanda.

La asignación de rutas en GRAd depende de la disponibilidad de rutas redundantes, desde el nodo origen hacia el nodo destino para así optimizar la funcionalidad de red obteniendo latencias más bajas. Para reducir el tráfico de la red una vez llegado el mensaje al destino, GRAd suprime la proliferación del mensaje devolviendo un ACK.

2.2.10 Security Service Specification (SSS)

2.2.10.1 Seguridad en APL

Cuando se origina una trama en la capa APL, la subcapa APS se ocupará de la seguridad. La Figura II - 30 muestra los campos de seguridad que son incluidos en la trama APL, las funciones de seguridad son las de proporcionar prioridad en el establecimiento y el transporte de estos datos.

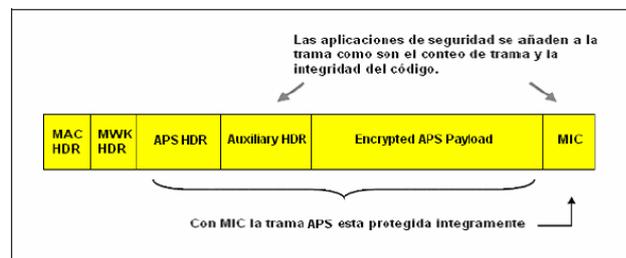


Figura II - 30 Trama MAC con seguridad

2.2.10.2 Seguridad en NWK

La capa NWK también hace uso del AES. Sin embargo, diferente la capa MAC, las colecciones de seguridad están basados en el modo de funcionamiento CCM*.

El CCM * es una modificación a baja escala del modo de CCM usada por la capa MAC. Incluye toda la capacidad de CCM y adicionalmente ofrece: solo encriptación y solo-integridad.

Estas capacidades extras simplifican la seguridad de capa NWK eliminando la necesidad de los modos CTR y CBC-MAC. También, el uso de CCM* en todas las colecciones de seguridad permite una sola clave a ser usada por las diferentes colecciones.

Desde que una clave no se liga estrictamente a una sola colección de seguridad, una aplicación tiene la flexibilidad para especificar la colección de seguridad aplicable a cada trama NWK, no sólo si la seguridad se habilita o se deshabilita.

Cuando la capa NWK transmite una trama usa una colección particular de seguridad llamada SSP (Security Services Provider) para procesar la trama. El SSP mira la fuente de la trama, recupera la clave asociada con esa fuente, y entonces aplica la colección de seguridad de la trama.

El SSP proporciona a la capa NWK una primitiva para aplicar seguridad a las tramas salientes y otra para verificar y quitar la seguridad de las tramas entrantes.

La capa NWK es responsable de la seguridad del proceso, pero las capas superiores controlan el proceso preparando claves y determinando que colección de seguridad CCM * a usar en cada trama. Similar al formato de la trama MAC, un conteo de secuencia de trama y el MIC pueden ser añadidos a la trama NWK.

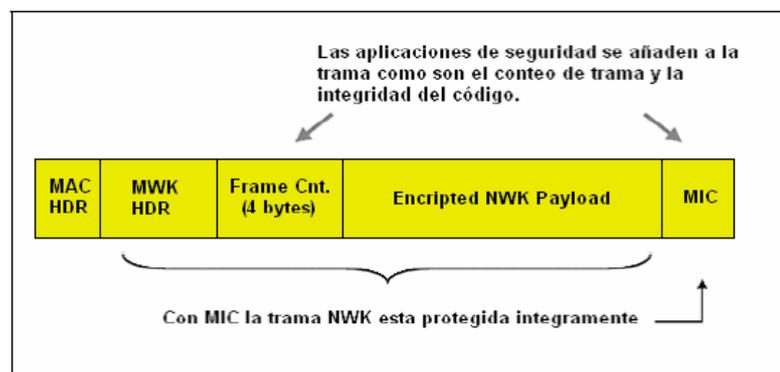


Figura II - 31 Trama MAC con seguridad

2.2.10.3 Seguridad en MAC

ZigBee usa seguridades en MAC para salvaguardar las tramas de comando, beacon y ACK, en topología star la información es resguardada usando la seguridad de la trama de datos, pero en topologías más complejas se cuanta con las seguridades de las capas superiores (como la de capa NWK).

En la capa MAC el algoritmo de encriptación es AES (Advanced Encryption Standard) y describe una variedad de colecciones de seguridad. Estas colecciones protegen la confidencialidad, integridad, y autenticidad de las tramas MAC.

La capa MAC realiza la seguridad, pero las capas superiores son las que prepararan las claves y determinaran los niveles de seguridad. Cuando la capa de MAC recibe una trama con seguridad, mira la fuente de la trama, recupera la clave asociada con esta fuente, y entonces usa esta clave para procesar la trama según el tipo de seguridad asignada.

Al transmitir una trama, y su integridad es requerida, los datos de la MAC Header y el payload de MAC son usados para crear un MIC (Message Integrity Code) el cual puede ser de 4, 8, o 16 octetos y es añadido al payload de MAC. Si la confidencialidad es requerida, el payload de la trama MAC y el campo conteo de secuencia son usados para formar un nonce y este es añadido al payload de la trama. Cuando la capa MAC recibe una trama y si el MIC está presente, se procede a descencriptar el payload.

El dispositivo que envía datos incrementara el conteo de trama con cada mensaje enviado y los dispositivos que receptan esta información guardaran los datos del último conteo de las tramas enviadas por cada dispositivo. Si un mensaje con conteo viejo es detectado se lo marcara como un error de seguridad. Las seguridades en capa MAC están basados en dos modos de funcionamiento, AES en el modo Counter (CTR), y el modo Cipher Block Chaining Message Authenticity Check (CBC - MAC), cuando la integridad de la trama es requerida.

Una combinación de encriptación y de integridad está dada por una combinación de CTR y CBC-MAC siendo este el modo CCM.

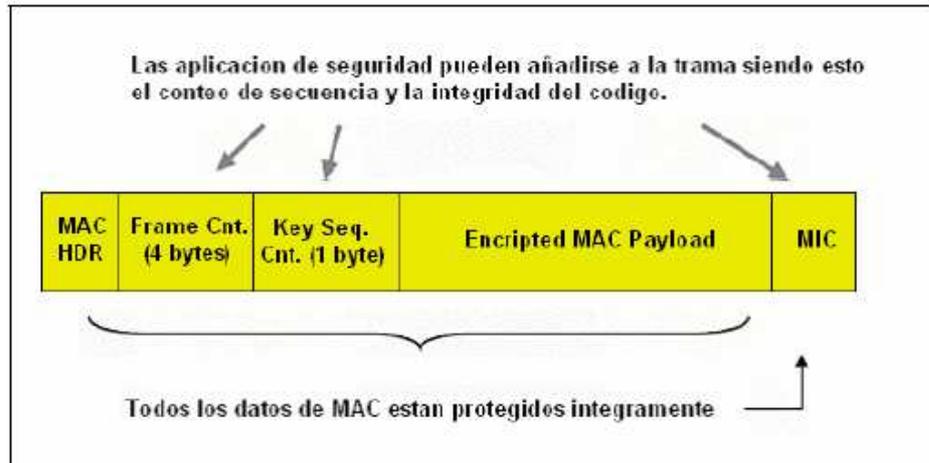


Figura II - 32 Trama MAC con seguridad

2.2.11 Mercados y Aplicaciones de ZigBee

Las soluciones sobre el estándar ZigBee, en conexión de redes, se centran en mercados y aplicaciones específicas. El estándar ZigBee se ha hecho a medida para la monitorización y para aplicaciones de control. A continuación algunas aplicaciones potenciales

2.2.11.1 Periféricos de Computadoras y Electrónica de Consumo

- Teclados y ratones inalámbricos
- Consolas y juegos portátiles
- Juguetes pequeños
- Control remoto para televisión
- Teléfonos

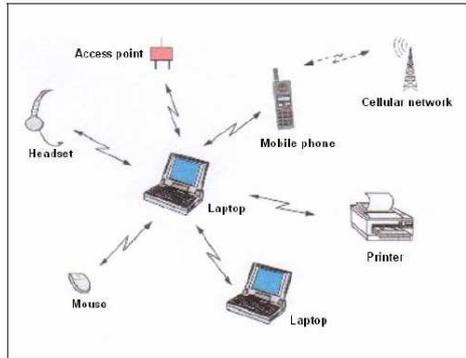


Figura II - 33 Electrónica de consumo

2.2.11.2 Hogares Automatizados

- Control de luz: ZigBee habilitará los interruptores de luz en el hogar disminuyendo costos y eliminando la necesidad de utilizar cables eléctricos para el control y de llamar a un electricista especializado si se necesita reubicar los interruptores.
- Los termostatos y controles de aire acondicionado pueden ser colocados en cualquier lugar libre de utilizar algún tipo de cableado.

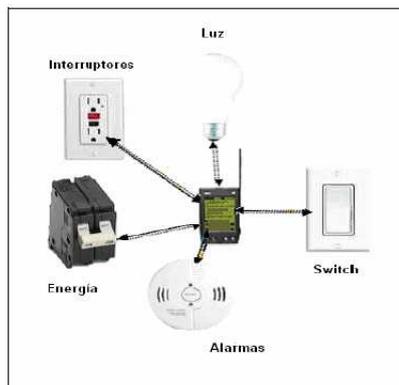


Figura II - 34 Automatización de los hogares

- Censores de movimiento.
- HVAC (la distribución de sensores pueden ayudar a los sistemas a trabajar más eficientemente).
- Cerraduras electrónicas de seguridad con solo presionar un botón.
- Detectores de CO2.

- Control de riego.

2.2.11.3 Aplicaciones Industriales y Comerciales

- Medidores de gas y electricidad, etc.
- Detector de H₂O: Los sensores ZigBee pueden colocarse en lugares remotos (dentro de los tanques de agua) y enviar periódicamente datos.
- Control de flujo de trabajo y de la línea de ensamblaje.
- Equipos de diagnóstico.

2.2.11.4 Cuidados en la Salud



Figura II - 35 Botón de alarma, llamado sistema LISA.

- Chequeo de signos vitales del paciente sin importar en qué lugar en el hospital se encuentre.
- Dentro del hogar dispositivos con botones de alarma que pueden ser usadas por personas ancianas o débiles.
- Monitoreo y reporte de signos vitales a largo plazo con propósito de prevención con el fin de aplicar un diagnóstico temprano.
- Debido a la vida larga de los dispositivos se puede utilizar los sensores en implantes.

CAPÍTULO III

PARTE INVESTIGATIVA

3.1 Introducción

En este capítulo se hace un análisis del uso de la tecnología ZigBee frente a otras tecnologías como WI-FI y Bluetooth para determinar las ventajas, desventajas y su campo de aplicación.

3.2 Bluetooth

3.2.1 Introducción

Bluetooth es una tecnología de red de área personal inalámbrica (abreviada **WPAN**), una tecnología de red inalámbrica de corto alcance, que se utiliza para conectar dispositivos entre sí sin una conexión por cable. A diferencia de la tecnología IrDa (que utiliza una conexión infrarrojo), los dispositivos Bluetooth no necesitan una línea de

visualización directa para comunicarse. Esto hace que su uso sea más flexible y permite la comunicación entre habitaciones en espacios pequeños.

La tecnología Bluetooth se diseñó principalmente para conectar dispositivos (como impresoras, teléfonos móviles, artículos para el hogar, auriculares inalámbricos, ratón, teclados, etc.), equipos o PDA (Asistente personal digital) entre sí, sin utilizar una conexión por cable. Bluetooth también se utiliza cada vez más en teléfonos móviles, lo cual les permite comunicarse con equipos o PDA (Asistente personal digital), y se ha extendido especialmente a los accesorios manos libres, como los auriculares Bluetooth.

3.2.2 Definición

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

3.2.3 Características

Bluetooth puede transmitir velocidades de aproximadamente 1 Mbps, que corresponde a 1600 saltos por segundo en modo full dúplex, con un alcance de aproximadamente diez metros cuando se utiliza un transmisor clase II y de un poco menos de cien metros cuando se utiliza un transmisor clase I.

El estándar Bluetooth define 3 clases de transmisores, cuyo alcance varía en función de su potencia radiada:

Tabla III - III Clases de transmisión de Bluetooth

Clase	Potencia (pérdida de señal)	Alcance
I	100 mW (20 dBm)	100 metros
II	2,5 mW (4 dBm)	15 – 20 metros
III	1 mW (0 dBm)	10 metros

Bluetooth incorpora otras características importantes, que la diferencian de las demás tecnologías inalámbricas, como las siguientes:

- Soporta tantas conexiones punto a punto como conexiones punto a multipunto.
- Incorpora mecanismos de seguridad.
- No necesita apuntar para transmitir, es capaz de atravesar carteras y paredes
- Soporta tanto servicios isócronos como asíncronos, lo que facilita la integración con TCP/IP.
- Regulada por organismos mundiales.
- Ultra-bajo consumo promedio de energía en modo inactivo
- Capacidad para funcionar durante años en las baterías estándar de celda de moneda
- la interoperabilidad de múltiples proveedores
- Mayor rango
- Tecnología inalámbrica. Reemplaza la conexión alámbrica en distancias que no exceden los 10 metros, alcanzando velocidades del rango de 1Mbps.
- Comunicación automática. La estructura de los protocolos que lo forman favorece la comunicación automática sin necesidad de que el usuario la inicie.
- Integración de servicios. Puede soportar transmisiones de voz y datos de manera simultánea.
- Seguridad. Utiliza Spread Spectrum Frequency Hopping como técnica de multiplexaje, lo que disminuye el riesgo de que las comunicaciones sean interceptadas o presenten interferencia con otras aplicaciones.

- Establecimiento de redes. Tiene la característica de formar redes en una topología donde un dispositivo hace las veces de maestro y hasta siete más operando como esclavos.

3.2.4 Ventajas

- Tecnología ampliamente usada, especialmente en equipos y móviles de reciente producción.
- Se puede usar impresoras comunes con la capacidad Bluetooth integrada e imprimir fotografías y documentos directamente desde nuestros móviles o PDA's.
- Si los móviles tienen la capacidad de "chat", Se puede hacerlo sin costo alguno y sin que nadie alrededor sepa de lo que se conversa, Similar al uso del MSN.
- Si el computador tiene alguna vía de soporte Bluetooth, ya sea con tarjeta interna o adaptador USB, Se puede sincronizar la agenda de contactos y citas del móvil con la computadora similar al uso con las Palm u otros PDA's.
- Permite transferir desde la computadora, desde otro móvil o desde un PDA imágenes, sonidos (ringtones) y tarjetas digitales de contacto.
- Facilita usar el acceso a internet de nuestro móvil, conectando la computadora con él.
- Permite controlar (con software especializado) nuestra computadora o periféricos a través de un móvil con BT.
- Crear redes inalámbricas entre computadoras, pero con la salvedad que es un sistema muy lento (1 MB/seg.)

3.2.5 Desventajas

- Velocidad de transmisión muy lenta para transferencia de archivos pesados (1 MB/seg.).
- Cuando es usado inadecuadamente, se puede recibir mensajes y archivos indeseados.

- Limitado radio de acción entre los periféricos (30 pies entre ellos). Luego de esa distancia no hay garantías de transmisión adecuada de datos.
- Limitación entre la cantidad de periféricos que puede usar. Los adaptadores Bluetooth solo permiten hasta 7 equipos “pareados” (término usado para definir los equipos que se pueden sincronizar y comunicar entre sí).
- Gasta mucha energía de la batería, cuando está en el modo visible.

3.3 Wi-Fi

3.3.1 Introducción

Cuando se habla de WI-FI nos referimos a una de las tecnologías de comunicación inalámbrica más utilizada hoy en día. Gracias a la capacidad de poder conectarse al servicio de Internet sin utilizar algún tipo de cable o medio físico, permitiéndole al usuario navegar en diferentes lugares WI-FI es una abreviatura de Wireless Fidelity, también llamada WLAN (wireless lan, red inalámbrica) o estándar IEEE 802.11.

El acceso a internet por medio de Wi-Fi, que en sus diferentes versiones (802.11a, b y g) puede ofrecer desde 11 Mbit/s hasta 54 Mbit/s, y sus distintas aplicaciones, especialmente en los (hot-spots) hoteles, aeropuertos, estaciones de servicio, centros de convenciones y comerciales, pueblos, etc., En los que se ofrece acceso a Internet, en muchos casos, de forma gratuita.

3.3.2 Definición

WiFi: Abreviatura en inglés para "wireless fidelity". Un tipo de red inalámbrica (WLAN - wireless local area networks), que usa el protocolo inalámbrico de alcance limitado IEEE 802.11b, que transmite datos en banda ancha en el rango espectral de 2.4 GHz. Ha ganado aceptación en mucho ambientes como una alternativa viable a los LANs cableados.

3.3.3 Características

Estándares que certifica Wi-Fi

Existen diversos tipos de Wi-Fi, basado cada uno de ellos en un estándar IEEE 802.11 aprobado. Son los siguientes:

- Los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n disfrutan de una aceptación internacional debido a que la banda de 2.4 GHz está disponible casi universalmente, con una velocidad de hasta 11 Mbps, 54 Mbps y 300 Mbps, respectivamente.
- En la actualidad ya se maneja también el estándar IEEE 802.11a, conocido como WIFI 5, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios. La banda de 5 GHz ha sido recientemente habilitada y, además, no existen otras tecnologías (Bluetooth, microondas, ZigBee, WUSB) que la estén utilizando, por lo tanto existen muy pocas interferencias. Su alcance es algo menor que el de los estándares que trabajan a 2.4 GHz (aproximadamente un 10%), debido a que la frecuencia es mayor (a mayor frecuencia, menor alcance).
- Un primer borrador del estándar IEEE 802.11n que trabaja a 2.4 GHz y a una velocidad de 108 Mbps. Sin embargo, el estándar 802.11g es capaz de alcanzar ya transferencias a 108 Mbps, gracias a diversas técnicas de aceleramiento.

Seguridad y fiabilidad

Uno de los problemas a los cuales se enfrenta actualmente la tecnología Wi-Fi es la progresiva saturación del espectro radioeléctrico, debido a la masificación de usuarios, esto afecta especialmente en las conexiones de larga distancia (mayor de 100 metros). En realidad Wi-Fi está diseñado para conectar ordenadores a la red a distancias reducidas, cualquier uso de mayor alcance está expuesto a un excesivo riesgo de interferencias.

Un muy elevado porcentaje de redes son instalados sin tener en consideración la seguridad convirtiendo así sus redes en redes abiertas (o completamente vulnerables a los crackers), sin proteger la información que por ellas circulan.

Existen varias alternativas para garantizar la seguridad de estas redes. Las más comunes son la utilización de protocolos de cifrado de datos para los estándares Wi-Fi como el WEP, el WPA, o el WPA2 que se encargan de codificar la información transmitida para proteger su confidencialidad, proporcionados por los propios dispositivos inalámbricos.

3.3.4 Ventajas de Wi-Fi

- El sistema de paquetes de radio es diferente, Wi-Fi usa el espectro de radio no licenciado y no requiere aprobaciones reguladoras para un despliegue individual, porque usa la banda 2.4Ghz que es libre excepto en unos pocos países.
- Le permite a las LANs ser desplegadas sin cablear, reduciendo potencialmente los costos de despliegue de la red y expansión de la misma. Los productos de Wi-Fi están extensamente disponibles en el mercado.
- La competencia entre vendedores ha bajado los precios considerablemente desde que empezó la tecnología.
- Las redes Wi-Fi soportan Roaming (Cambio de Cobertura) en donde una estación móvil como por ejemplo un computador portátil puede moverse de un punto de acceso a otro en donde el usuario se mueve alrededor de un edificio o área.
- Wi-Fi es un conjunto global de estándares. Al contrario que los celulares, el mismo cliente de Wi-Fi trabaja en los diferentes países alrededor del mundo.

3.3.5 Desventajas de Wi-Fi

- Las asignaciones del espectro y las limitaciones operacionales no son consistentes mundialmente; la mayoría de Europa permite 2 cauces adicionales más allá de aquéllos permitidos en Estados Unidos; Japón tiene uno más encima

de esos, y algunos países como España, prohíben el uso de los cauces de baja numeración.

- Los estándares 802.11b y 802.11g usan la banda Wi-Fi 2.4GHz que no necesita licencia, que esta atestada con otros dispositivos inalámbricos que usan la misma banda como Bluetooth, los hornos del microondas, los teléfonos inalámbricos.
- El consumo de electricidad es bastante alto comparado con otros estándares, haciendo la vida de la batería corta y calentándola también.
- El estándar de encriptación inalámbrico más común, el WEP (Wired Equivalent Privacy) es reconocido por que se ha violado su seguridad. Aunque los más nuevos productos inalámbricos mejoraron su seguridad con el protocolo Wi-Fi Protect Access (WPA).
- Las redes Wi-Fi tienen limitado el rango de alcance. Un típico router Wi-Fi casero usa los estándares 802.11b o 802.11g podría tener un rango de 45 m (150 pies) entre paredes y 90 m (300 pies) en campo abierto.
- Interferencia de puntos de acceso cerrados o encriptados con otros puntos de acceso abiertos con la misma banda o siendo vecino puede prevenir el acceso a los puntos de acceso abiertos por otros en el área.
- Los puntos de acceso gratis podrían ser usados para robar información personal por usuarios maliciosos de la red Wi-Fi.
- La interoperabilidad entre marcas o desviaciones en los estándares puede causar limitar las conexiones o bajar las velocidades de transmisión.

3.4 ZigBee

3.4.1 Introducción

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones para redes Wireless que requieran comunicaciones seguras y fiables con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

3.5 Definición

Estándar IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (low-rate wireless personal area network, LR-WPAN). La actual revisión del estándar se aprobó en 2006. El grupo de trabajo IEEE 802.15 es el responsable de su desarrollo.

También es la base sobre la que se define la especificación de ZigBee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar no cubre.

3.6 Características

- ZigBee, también conocido como "HomeRF Lite", es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 250 kB/s.
- Los rangos de alcance son de 10 m a 75 m.
- Puede usar las bandas libres ISM (6) de 2,4 GHz (Mundial), 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU).
- Una red ZigBee puede estar formada por hasta 255 nodos los cuales tienen la mayor parte del tiempo el transceiver ZigBee dormido con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas.
- Un sensor equipado con un transceiver ZigBee pueda ser alimentado con dos pilas AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años.
- La fabricación de un transmisor ZigBee consta de menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente.
- Diferentes tipos de topologías como estrella, punto a punto, malla, árbol.
- Acceso de canal mediante CSMA/CA (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones).
- Escalabilidad de red -- Un mejor soporte para las redes más grandes, ofreciendo más opciones de gestión, flexibilidad y desempeño.

- Fragmentación -- Nueva capacidad para dividir mensajes más largos y permitir la interacción con otros protocolos y sistemas.
- Agilidad de frecuencia -- Redes cambian los canales en forma dinámica en caso que ocurran interferencias.
- Gestión automatizada de direcciones de dispositivos - El conjunto fue optimizado para grandes redes con gestión de red agregada y herramientas de configuración.
- Puesta de servicio inalámbrico -- El conjunto fue mejorado con capacidades seguras para poner en marcha el servicio inalámbrico.
- Recolección centralizada de datos -- El conjunto fue sintonizado específicamente para optimizar el flujo de información en las grandes redes.

3.7 Ventajas

- Ideal para conexiones punto a punto y punto a multipunto
- Diseñado para el direccionamiento de información y el refrescamiento de la red.
- Opera en la banda libre de ISM 2.4 Ghz para conexiones inalámbricas.
- Óptimo para redes de baja tasa de transferencia de datos.
- Alojamiento de 16 bits a 64 bits de dirección extendida.
- Reduce tiempos de espera en el envío y recepción de paquetes.
- Detección de Energía (ED).
- Baja ciclo de trabajo - Proporciona larga duración de la batería.
- Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y malla.
- Hasta 65.000 nodos en una red.
- 128-bit AES de cifrado - Provee conexiones seguras entre dispositivos.
- Son más baratos y de construcción más sencilla.

3.8 Desventajas

- La tasa de transferencia es muy baja.
- Solo manipula textos pequeños comparados con otras tecnologías.

- ZigBee trabaja de manera que no puede ser compatible con Bluetooth en todos sus aspectos porque no llegan a tener las mismas tasas de transferencia, ni la misma capacidad de soporte para nodos.
- Tiene menor cobertura porque pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN.

3.9 Comparación de ZigBee frente a Bluetooth y Wi-fi

Tabla III - IV Comparación de Tecnologías Inalámbricas

Comparación de Tecnologías Inalámbricas			
	Wi-fi	Bluetooth	ZigBee
Bandas de Frecuencias	2.4 GHz	2.4GHz	2.4GHz 868 /915 Mhz
Tamaño de Pila	~ 1Mb	~ 1Mb	~ 20kb
Tasa de Transferencia	11 Mbps	1 Mbps	250kbps (2.4GHz) 40kbps (915MHz) 20kbps (868MHz)
Números de Canaletas	11 -- 14	79	16 (2.4GHz) 10 (915MHz) 1 (868MHz)
Tipo de Datos	Digital	Digital, Audio	Digital (Texto)
Rango de Nodos Internos	100m	10m -100m	10m -100m
Número de Dispositivos	32	8	255/65535
Requisitos de Alimentación	Media – Horas de Batería	Media – Día de Batería	Muy Baja – Años de Batería
Introducción al mercado	Alta	Media	Baja
Arquitecturas	Estrella	Estrella	Estrella, Árbol, Punto a Punto y Malla

Mejores de Aplicaciones	Edificio con Internet Adentro	Computadoras y Teléfonos	Control de Bajo Costo y Monitoreo
Consumo de Potencia	400 ma Transmitiendo, 20 ma en reposo	40 ma transmitiendo, 0.2 ma en reposo	30 ma transmitiendo, 3microA en reposo
Precio	Costoso	Accesible	Bajo
Complejidad	Complejo	Complejo	Simple

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA RED ZIGBEE INDUSTRIAL

4.1 Introducción

Para la consecución de una solución de calidad es necesario aplicar una metodología, razón por la cual se debe seleccionar la que más se adapte a las necesidades del diseño e implementación de una red ZigBee para aplicaciones Industriales.

Este capítulo abarca el desarrollo de la metodología XP, aplicada de acuerdo a los requerimientos que se necesitan para la implementación de la red ZigBee para aplicaciones Industriales, la cual se ha dividido en cuatro fases cada una de ellas con sus respectivas sub actividades, que se van desarrollando en el transcurso de este capítulo.

Para la comprobación de la hipótesis se ha utilizado la técnica del coeficiente de PEARSON, esta técnica nos permite identificar las variables dependientes e independientes que están presentes en el planteamiento de la hipótesis, además permite realizar la operacionalita de las variables y determinar sus indicadores.

4.2 Aplicación Práctica

4.2.1 Metodología para Implementación de la Red ZigBee Industrial

Para la implementación de la red ZigBee para Aplicaciones Industriales en el laboratorio de Automatización Industrial de la EIS, se requería de una metodología que se adapte a las necesidades, es decir que permita integrar tanto un paquete software SCADA (LookoutV6.2), los dispositivos ZigBee, así como los procesos de industriales (control de iluminación y estación de distribución).

Al no existir una metodología que permita complementar los requerimientos antes mencionados se propone un conjunto de actividades, las mismas que se van a basar en la metodología de desarrollo de software XP, que permitirá cumplir con los objetivos planteados en el presente trabajo.

La metodología propuesta consta con las siguientes fases:

FASE I: Planificación

- 1.1 Descripción del Sistema
- 1.2 Especificación de Requerimientos
 - 1.2.1 Requerimientos funcionales
 - 1.2.2 Requerimientos no funcionales
- 1.3 Historias de Usuarios
- 1.4 Planificación Inicial
- 1.5 Plan de Iteraciones

FASE II: Diseño

- 2.1 Diseño de Software
 - 2.1.1 Diagramas de Secuencia
 - 2.1.2 Diagramas de Colaboración

2.1.3 Diagrama de Actividades

2.1.4 Diagrama de Estados

2.1.5 Diagrama de Despliegue

FASE III: Desarrollo

3.1 Introducción

3.2 Instalación de Software

3.2.1 Instalación de TwidoSoftV3.5.

3.2.2 Instalación de LookoutV6.2.

3.2.3 Instalación de QModbusV2.0.

3.3 Creación de la red ZigBee

3.4 Configuración de dispositivos ZigBee.

3.4.1 Configuración Gateway Modbus USB - ZigBee (ZC-GW-USB-EM).

3.4.2 Configuración Bridge ZigBee – ModBus RS485 (ZR-BR-485-EM).

3.4.3 Configuración ZigBee module with relay (ZR-TIREL2-EM).

3.5 Conexión de Dispositivos ZigBee a procesos industriales

3.5.1 Conexión del Bridge ZigBee – Modbus RS485 a la interfaz de comunicación TWDNAC485T del PLC

3.5.2 Conexión del ZigBee Module With Relay al Módulo Control de Iluminación.

3.6 Configuración puerto de comunicación TWDNAC485T del PLC TWDLMDA20DTK.

3.7 Programación en LookoutV6.2.

3.8 Gestión de Proceso industrial mediante LookoutV6.2.

FASE IV: Pruebas

4.1 Pruebas Hardware

4.2 Pruebas Software

En la Fase de **Planificación** se desarrollará las actividades que permitan una mejor comprensión de la red que se va a implantar, así como su planificación inicial tomando en cuenta los usuarios que van a interactuar con la misma y los requerimientos que debe tener la red para su correcto funcionamiento.

El objetivo de la Fase de **Diseño** es mostrar mediante diagramas UML el funcionamiento de la Red y la interacción con los usuarios.

En la Fase de **Desarrollo** se describirá paso a paso las instalación de los paquetes software instalados para la gestión de la Red, también se realizará la descripción de la configuración de cada dispositivo hardware que pertenece a la red, siendo estos los dispositivos ZigBee, EL PLC TWDLMDA20DTK, el módulo estación de distribución y el módulo control de iluminación, también se desarrollará la aplicación necesaria para monitoreo y gestión de la red.

En la Fase de **Pruebas** se verificará las conexiones y el software desarrollado en las fases anteriores.

4.2.1.1 FASE I: Planificación

4.2.1.1.1 Descripción del Sistema

La tesis a implementar es una red ZigBee para aplicaciones industriales, para la cual se hará uso de equipos ZigBee tales como: Un **Gateway Modbus USB - ZigBee** (ZC-GW-USB-EM), Un **Bridge ZigBee – ModBus RS485** (ZR-BR-485-EM), un **ZigBee module with relay** (ZR-TIREL2-EM), un módulo control de iluminación , un PLC TWDLMDA20DTK y el módulo estación de distribución existentes en el laboratorio de Automatización de la Escuela de Ingeniería en Sistemas de la ESPOCH, con la finalidad de gestionar procesos industriales a través de esta red, y de esta manera ayudar a los estudiantes en el aprendizaje de las cátedras dictadas como son redes de computadores, automatización, electrónica y mecatrónica.

El hardware utilizado es:

- Gateway Modbus USB - ZigBee (ZC-GW-USB-EM)
- Bridge ZigBee – ModBus RS485 (ZR-BR-485-EM)
- ZigBee module with relay (ZR-TIREL2-EM)
- PLC TWDLMDA20DTK,
- Una fuente de alimentación de 24 V.

El software utilizado para el desarrollo de la red es:

- TwidoSoftV3.5.
- LookoutV6.2.
- QModbusV2.0

La red permitirá realizar la siguiente acción:

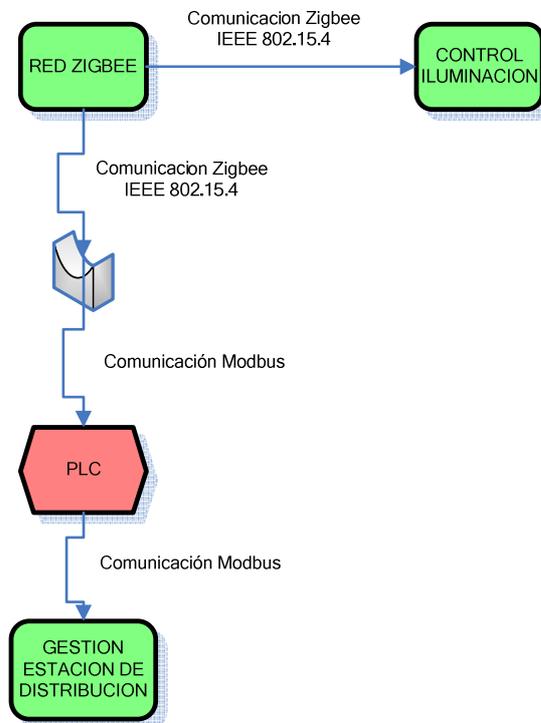


Figura IV - 36 Módulo conectado a la Red

4.2.1.1.2 Especificación de Requerimientos

Para la implementación de la red ZigBee para aplicaciones industriales, se necesita cumplir con los siguientes requerimientos:

4.2.1.1.2.1 Requerimientos funcionales

R1: El sistema deberá permitir la configuración de los dispositivos ZigBee para establecer la comunicación entre los mismos.

R2: El sistema deberá permitir conectar el Bridge ZigBee – ModBus RS485 a dispositivos Modbus a través de una interfaz RS485 de dos hilos.

R3: El sistema permitirá establecer la comunicación entre los dispositivos ZigBee con protocolo de comunicación ZigBee y el PLC TWDLMDA20DTK con protocolo de comunicación Modbus.

R4: El sistema debe permitir gestionar y monitorear de forma centralizada el modulo estación de distribución.

R5: El sistema debe permitir gestionar y monitorear de forma centralizada el módulo control de iluminación.

4.2.1.1.2.2 Requerimientos No funcionales

Disponibilidad

La red ZigBee industrial estará disponible en el laboratorio de Automatización de la Escuela de Ingeniería en Sistemas de la ESPOCH. El sistema cubre los requerimientos de disponibilidad.

Fiabilidad

La red es confiable debido a que va a ser sometida a continuas validaciones donde se medirá su grado de eficacia.

Mantenibilidad

La documentación del sistema debe proveer parámetros claros de la configuración de los equipos e implementación de la red ZigBee industrial, para poder obtener facilidad en el mantenimiento en caso de requerirlo.

4.2.1.1.3 Historia de Usuarios

HISTORIA DE USUARIO	
Número: 01	Usuario: Administrador
Nombre Historia: Configuración de dispositivos ZigBee.	Iteración Asignada: 1
Prioridad en Negocio: Alta	Riesgo en Desarrollo (Alta/Media/Baja)
Programador Responsable: Segundo Hipo	
<p>Descripción:</p> <p>Una vez establecido el diseño de la red y descrito los elementos necesario para dicha red se debe proceder a formar la red, para esto cada red debe tener un Gateway Modbus quien es el responsable de crear y mantener la red, a este dispositivo se debe dar una dirección comprendida entre 1 y 7 esto a través de un Dip-Switch que viene incorporado en la placa del mismo, posterior a esto se debe establecer los parámetros para la comunicación Modbus tales como velocidad en baudios 9600/19200, bit de parada, paridad, luego poner una dirección al ZigBee module with relay, esta dirección de igual manera se establece mediante un Dip-Switch y está comprendida entre 16 y 127, finalmente en el Gateway Modbus ZigBee habilitar el modo de trabajo en HoldingRegister[3] por defecto viene 21 en decimal es 10101, para que este dispositivo se pueda comunicar con dispositivos Modbus conectados a través del Bridge ZigBee – Modbus RS485 el bit #2 del HoldingRegister[3] debe ser igual a cero, esto implica que se debe establecer el valor de 17, siendo su correspondiente en binario igual a 10001.</p> <p>De igual manera se debe configurar los parámetros de comunicación en el Bridge ZigBee – Modbus RS485 a través del Dip-Switch que posee el mismo, estos parámetros</p>	

de comunicación hace referencia a los de los dispositivos Modbus conectados a dicho dispositivo ZigBee.
Observaciones: Para una mejor explicación ver manuales referentes de cada equipo.

HISTORIA DE USUARIO	
Número: 02	Usuario: Administrador
Nombre Historia: Conectar el Bridge ZigBee – Modbus RS485 al dispositivo Modbus PLC TWDLMDA20DTK a través de la interfaz RS485 de dos hilos.	Iteración Asignada: 1
Prioridad en Negocio: Media	Riesgo en Desarrollo: (Alta/Media/Baja)
Programador Responsable: Diego Morocho	
<p>Descripción:</p> <p>Una vez formada la red se procede a conectar los dispositivos Modbus a través del Bridge ZigBee – Modbus RS485 por medio de una interfaz RS485 de dos hilos, previamente el dispositivo Modbus debe tener asignado al puerto de comunicación una dirección Modbus comprendida entre 1 y 247, posterior se debe cablear la interfaz RS485 del Bridge ZigBee – Modbus RS485 a la interfaz de comunicación TWDNAC485T del PLC, para esto se conecta de la siguiente manera:</p> <p>(+)A → Rx/T+</p> <p>(-)B → Tx/T-</p> <p>SG → GND</p>	
<p>Observaciones: Una vez realizado la conexión debe haber comunicación entre el Gateway Modbus USB – ZigBee y el dispositivo Modbus PLC.</p> <p>Tener en cuenta que las direcciones Modbus de los dispositivos no debe duplicarse ni ser igual a las direcciones de los dispositivos ZigBee, cabe destacar que el Bridge ZigBee – Modbus RS485 no tiene asignado ninguna dirección Modbus.</p>	

HISTORIA DE USUARIO	
Número: 03	Usuario: Administrador
Nombre Historia: Establecer la Comunicación entre dispositivos ZigBee y el PLC TWDLMDA20DTK.	Iteración Asignada: 1
Prioridad en Negocio: Media	Riesgo en Desarrollo: (Alta/Media/Baja)
Programador Responsable: Diego Morocho	
Descripción: Una vez formado la red con todos sus elementos se debe establecer la comunicación entre ellos, para esto solamente se debe habilitar el modo de trabajo en el Coordinador ZigBee en HoldingRegister[3] el bit # 2 poner a cero, esto quiere decir que el valor debe estar en 17, y establecer bien los parámetros de comunicación, se debe destacar que la comunicación entre los dispositivos es transparente.	
Observaciones: Tanto el Bridge ZigBee – Modbus RS485 y el Gateway Modbus USB - ZigBee son los responsable de llevar y traer paquetes desde y hacia los dispositivos Modbus.	

HISTORIA DE USUARIO	
Número: 04	Usuario: Administrador
Nombre Historia: Control y Monitoreo del proceso industrial estación de distribución.	Iteración Asignada: 2
Prioridad en Negocio: Media	Riesgo en Desarrollo: (Alta/Media/Baja)
Programador Responsable: Segundo Hipo	
Descripción: El control y Monitoreo del proceso industrial (Estación de Distribución) de forma	

<p>centralizada se lo realiza a través de un Software que puede ser un SCADA o el QModbusV2.0.</p> <p>Para este caso se ha escogido el SCADA LookoutV6.2, el mismo que permite gestionar al proceso industrial a través de una comunicación Modbus Máster/Esclavo. En el LookoutV6.2 se tiene una interfaz desde donde se puede realizar las diferentes actividades de control y monitoreo como encender y detener dicho proceso.</p>
<p>Observaciones: ninguna</p>

<p>HISTORIA DE USUARIO</p>	
<p>Número: 05</p>	<p>Usuario: Administrador</p>
<p>Nombre Historia: Control y Monitoreo del módulo control de iluminación.</p>	<p>Iteración Asignada: 2</p>
<p>Prioridad en Negocio: Media</p>	<p>Riesgo en Desarrollo: (Alta/Media/Baja)</p>
<p>Programador Responsable: Diego Morocho</p>	
<p>Descripción:</p> <p>De igual manera para el control y Monitoreo del módulo de control de iluminación se lo realiza a través de un Software que puede ser un SCADA o el QModbusV2.0.</p> <p>Para este caso se ha escogido el SCADA LookoutV6.2, el mismo que permite gestionar al módulo control de iluminación a través de una comunicación Modbus Máster/Esclavo. En el Lookout se tiene una interfaz desde donde se puede realizar las diferentes actividades de control y monitoreo como es el caso de encender y apagar un indicador luminoso, activar o desactivar una alarma.</p>	
<p>Observaciones: EL módulo control de iluminación es el encendido y apagado de un indicador luminoso, activar o desactivar una alarma, estos procesos están conectados al relé1 y relé2 del ZigBee Module with Relay (ZR-TIREL2-EM) respectivamente.</p>	

4.2.1.1.4 Planificación Inicial

Ver Anexo I.

4.2.1.1.5 Plan de Iteración

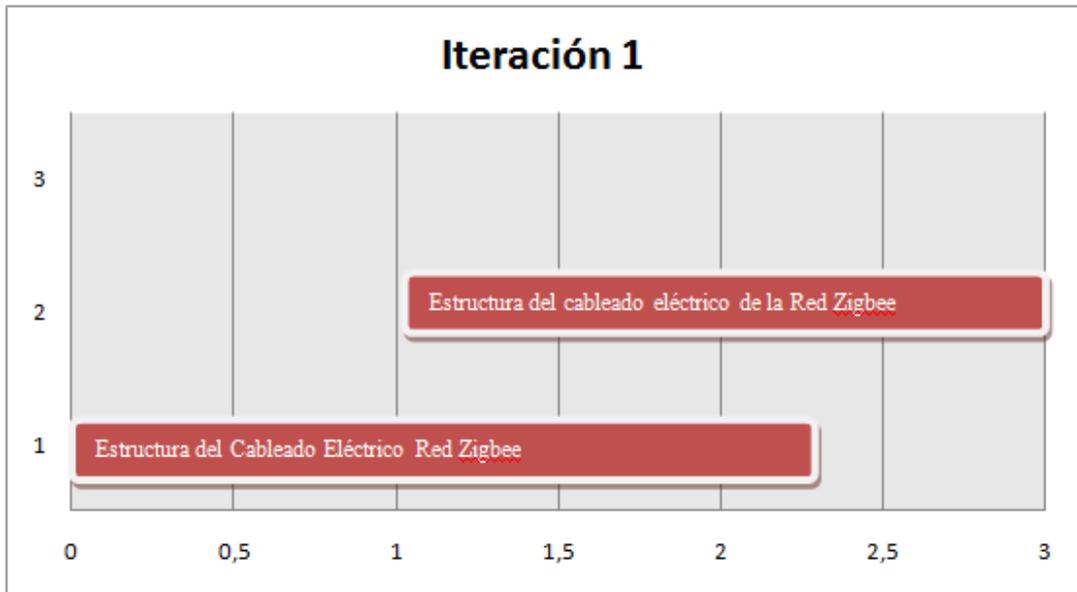


Figura IV - 37 Primera Iteración

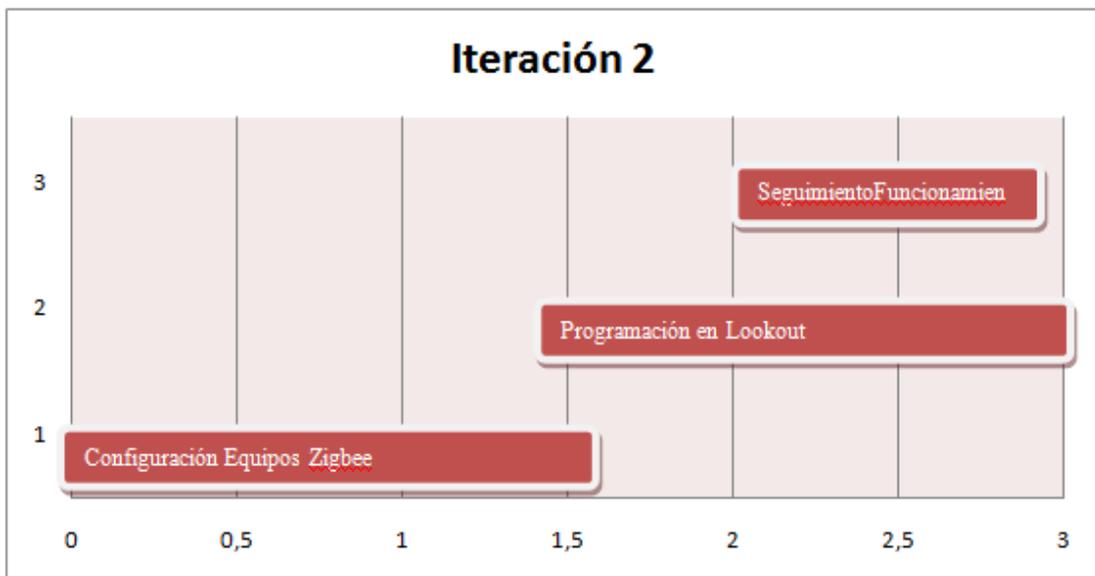


Figura IV - 38 Segunda Iteración

Plan de Entrega

- Primera Iteración: En esta primera iteración se realizará la identificación de las entradas y salidas mediante la utilización del multímetro que permitirá medir voltajes y verificar polaridades, tanto de los módulos usados como de los PLC's, para de esta manera proceder al cableado correspondiente, de igual manera se establecerá y configurara la red ZigBee con todos sus parámetros necesario para el buen funcionamiento, para lo cual es necesario instalar el programa TwidoSoftV3.5 y QModbusV2.0.
- Segunda Iteración: Para establecer la comunicación entre dispositivos ZigBee y dispositivos Modbus será necesario la instalación previa del programa del SCADA LookoutV6.2, una vez instalado este requisito se procederá controlar y gestionar los procesos industriales pertenecientes a la Red.

Incidencias

- Primera Iteración: Se debe realizar una correcta conexión eléctrica ya que si se conecta de manera errónea puede provocar un corto circuito en los dispositivos que estamos utilizando.
- Segunda Iteración: El programa elaborado debe ejecutarse en forma correcta para evitar problemas y daños al momento de ejecutar la aplicación, por eso se debe hacer un seguimiento de este antes de la conexión y durante esta.

4.2.1.2 FASE II: Diseño

4.2.1.2.1 Diseño Software

4.2.1.2.1.1 Diagramas de Secuencia

Red ZigBee para Aplicaciones Industriales

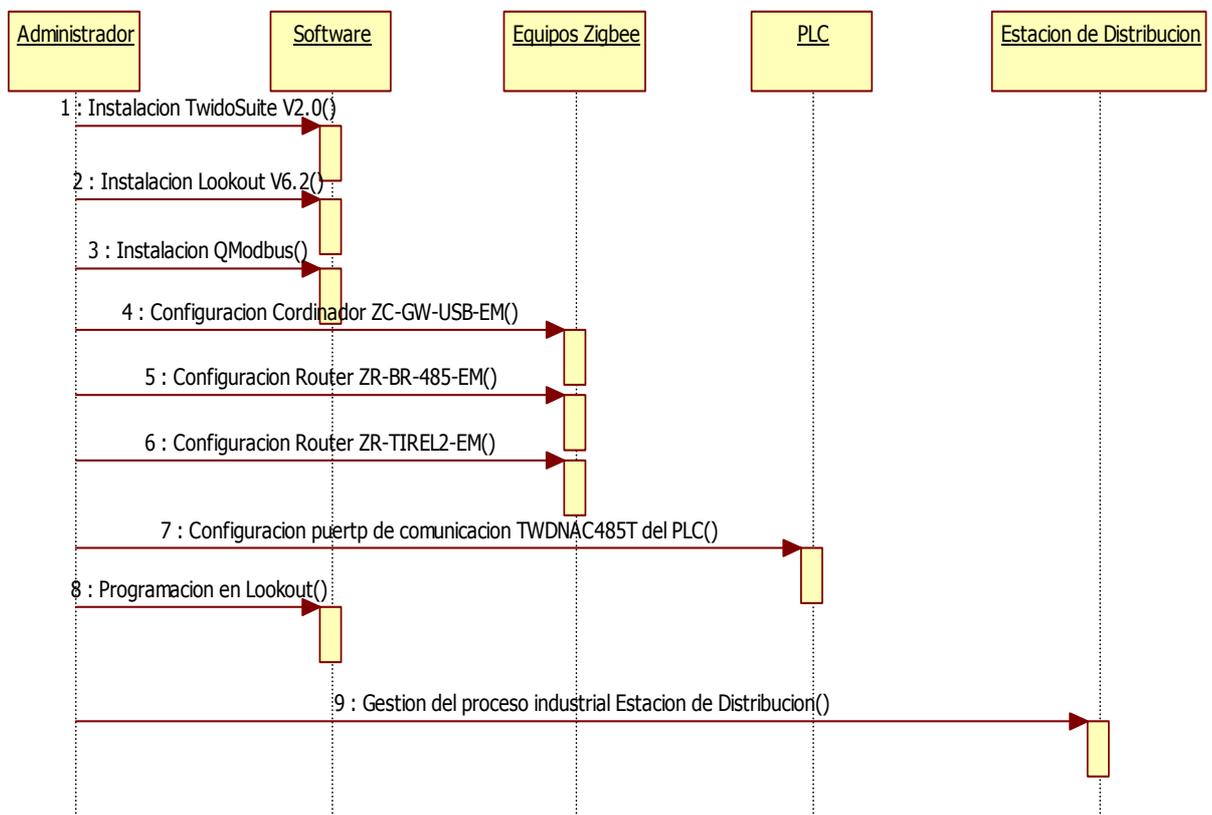


Figura IV - 39 Diagrama de Secuencia Red ZigBee Industrial

4.2.1.2.1.2 Diagrama de Colaboración

Red ZigBee para Aplicaciones Industriales

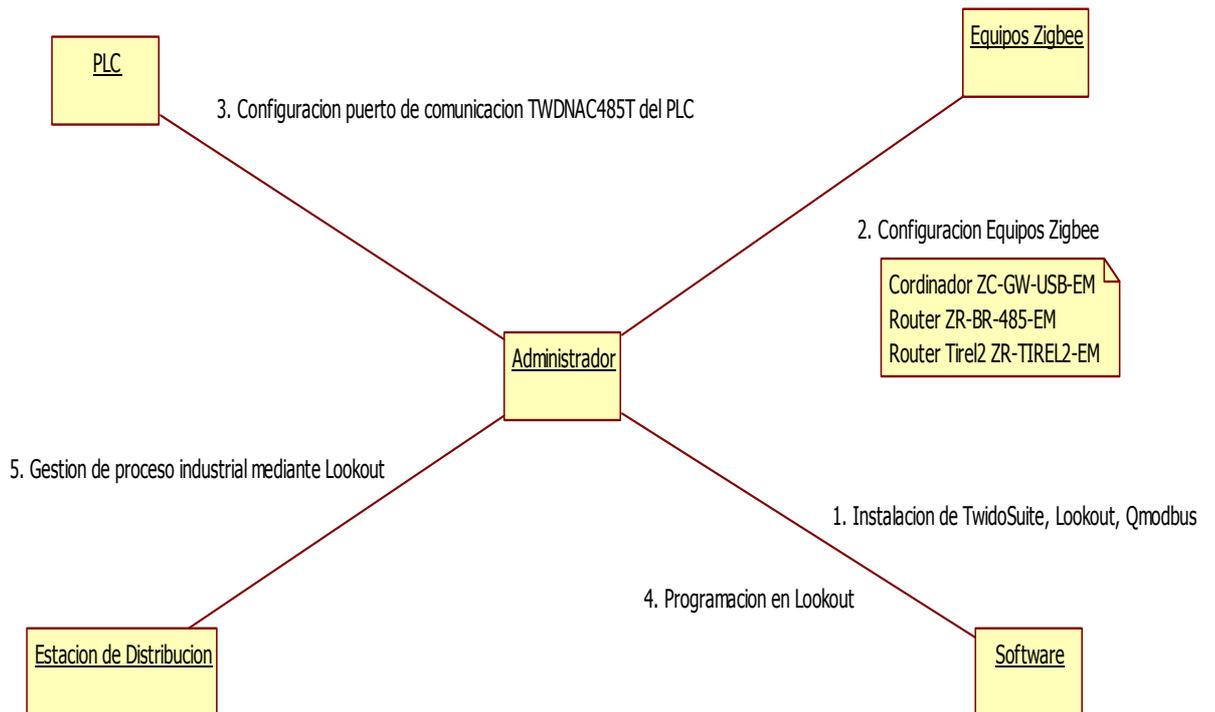


Figura IV - 40 Diagrama de Colaboración Red ZigBee Industrial

4.2.1.2.1.3 Diagrama de Actividades

Red ZigBee para Aplicaciones Industriales

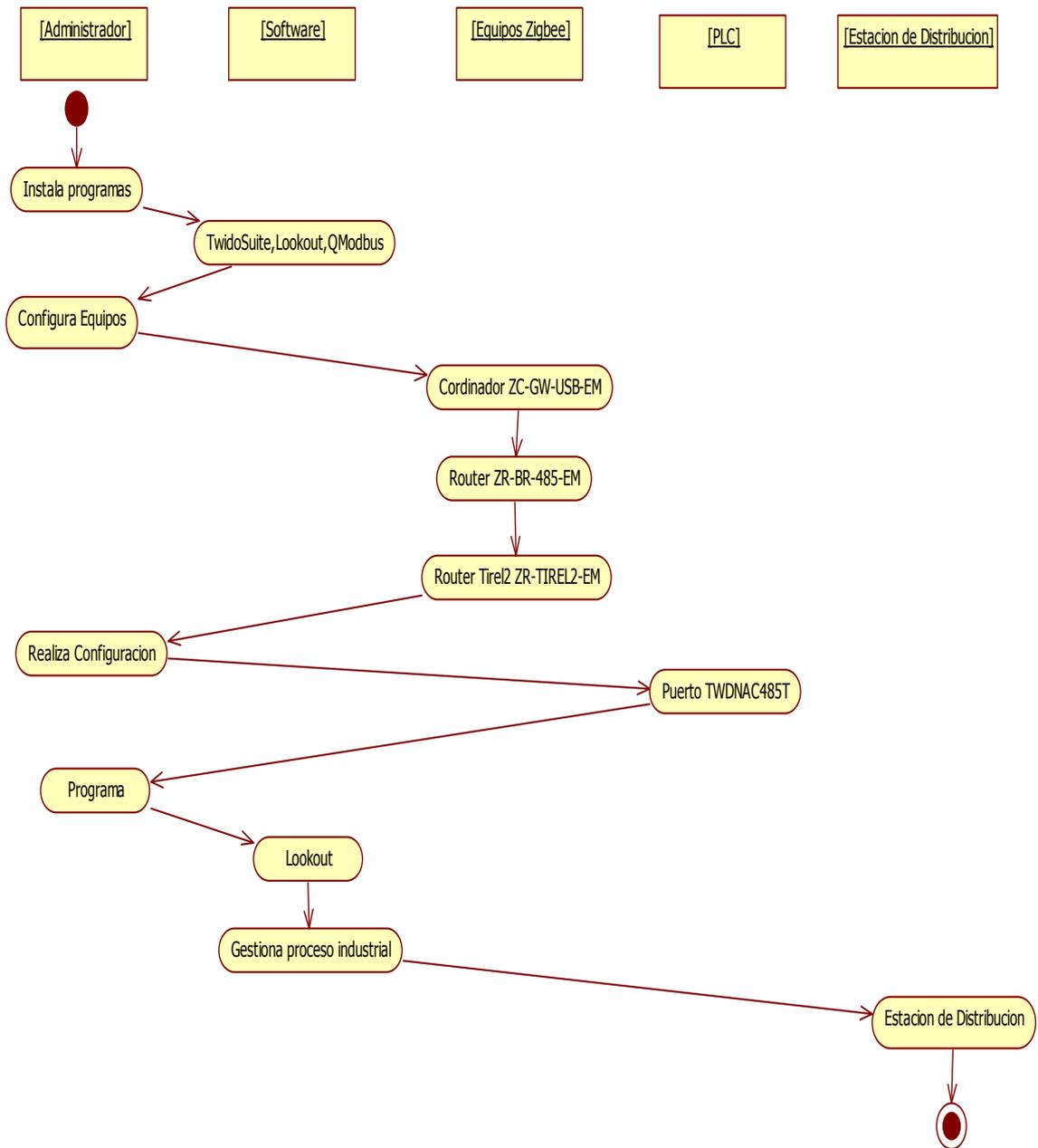


Figura IV - 41 Diagrama de Actividades Red ZigBee Industrial

4.2.1.2.1.4 Diagrama de Estados

Red ZigBee para Aplicaciones Industriales

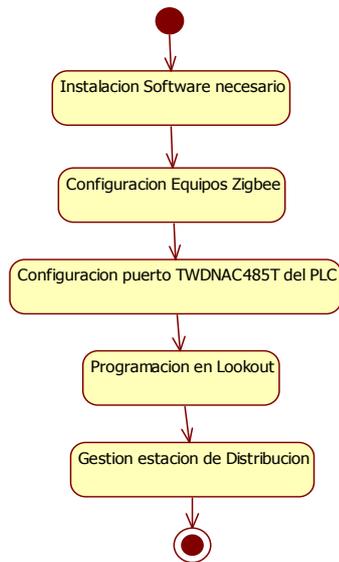


Figura IV - 42 Diagrama de Estados Red ZigBee Industrial

4.2.1.2.1.5 Diagrama de Despliegue

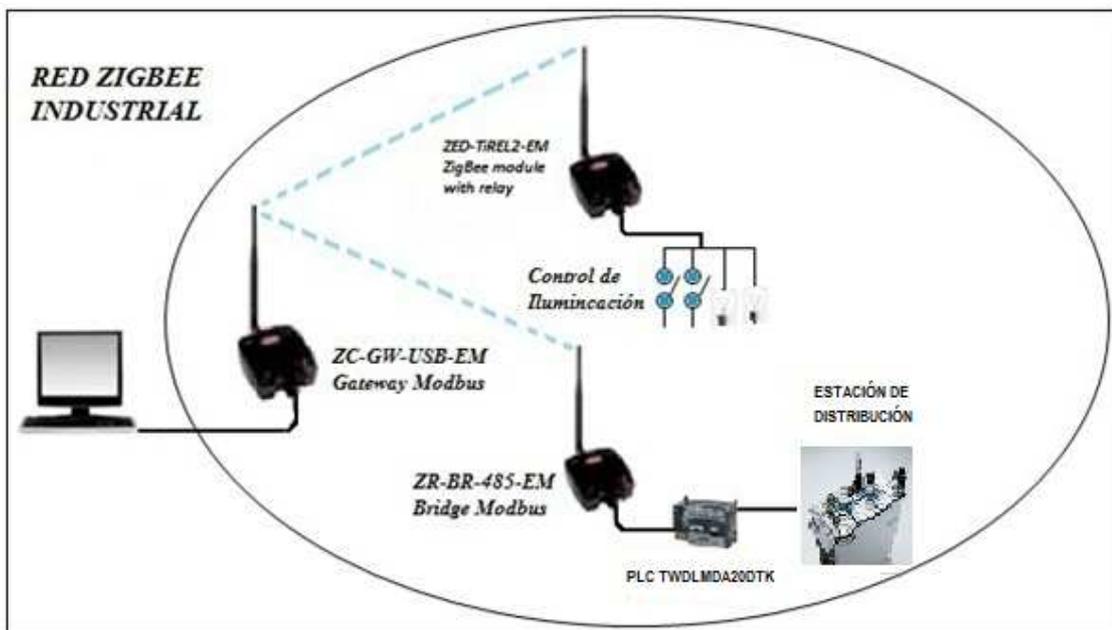


Figura IV - 43 Diagrama de Despliegue Red ZigBee Industrial

4.2.1.3 FASE II: Desarrollo

4.2.1.3.1 Introducción

En esta etapa se va a especificar la instalación del software utilizado tanto para cargar el programa al PLC TWDLMDA20DTK que controla la estación de distribución y el programa utilizado para la gestión y control del proceso industrial, así como la respectiva instalación y configuración de los dispositivos ZigBee y PLC para el correcto funcionamiento de la red ZigBee industrial.

4.2.1.3.2 Instalación de Software

4.2.1.3.2.1 Instalación de TwidoSoftV3.5

Para la instalación de TwidoSoftV3.5 se precede de la siguiente manera:

1. Ejecutar el instalador de TwidoSoftV3.5



Figura IV - 44 Instalador TwidoSoftV3.5

2. Seleccionar el idioma para la instalación de TwidoSoftV3.5
3. Aceptar la pantalla de bienvenida
4. Aceptar el contrato de licencia
5. Seleccionar la ruta donde desea instalar



Figura IV - 45 Selección de ruta de instalación

6. Seleccionar el idioma de instalación de TwidoSoftV3.5



Figura IV - 46 Selección del idioma para TwidoSofV3.5

7. Elegir el tipo de instalación que desee

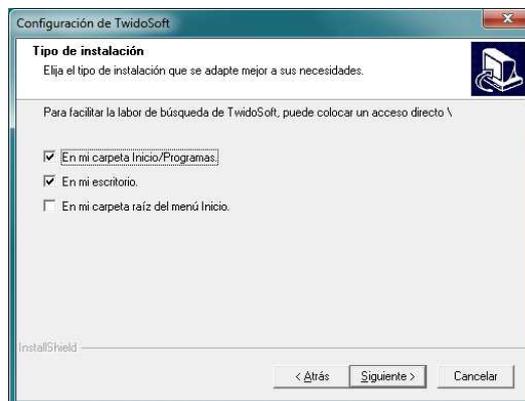


Figura IV - 47 Selección del tipo de instalación

8. Seleccionar la carpeta de programas

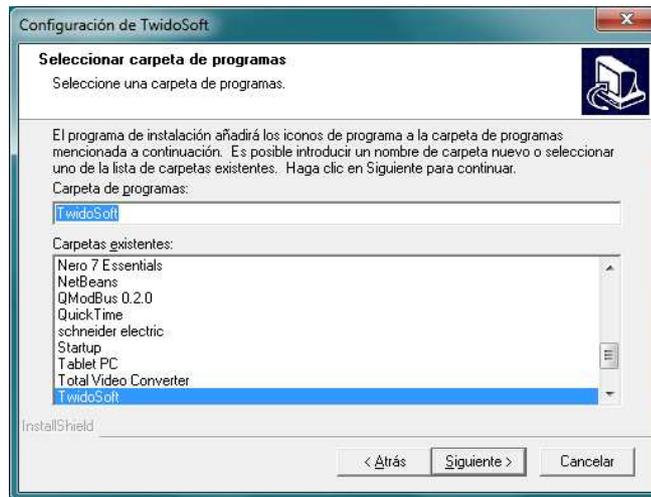


Figura IV - 48 Selección carpeta de programas

9. Finalizar la instalación
10. Reinicie el equipo
11. Inicie el programa TwidoSoftV3.5

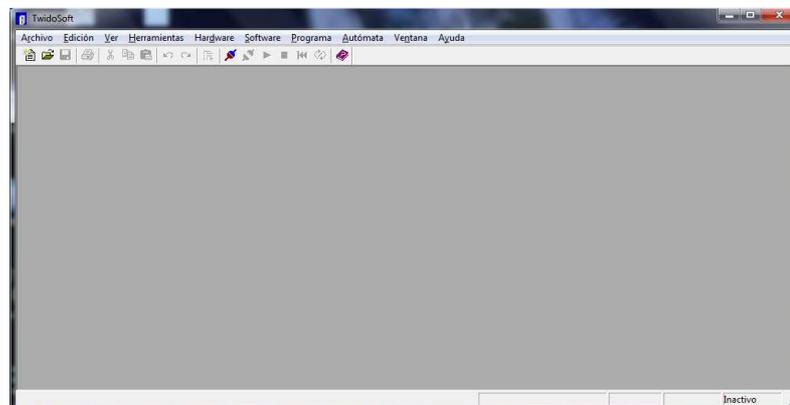


Figura IV - 49 Interfaz de programación de TwidoSoftV3.5

4.2.1.3.2.2 Instalación de LookoutV6.2.

1. Ejecutar el instalador de LookoutV6.2
2. Seleccionar Install Lookout

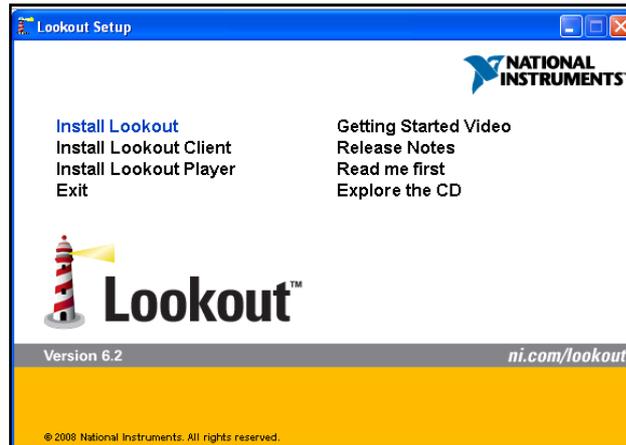


Figura IV - 50 Selección de Instalación de LookoutV6.2

3. Generar el serial para el producto

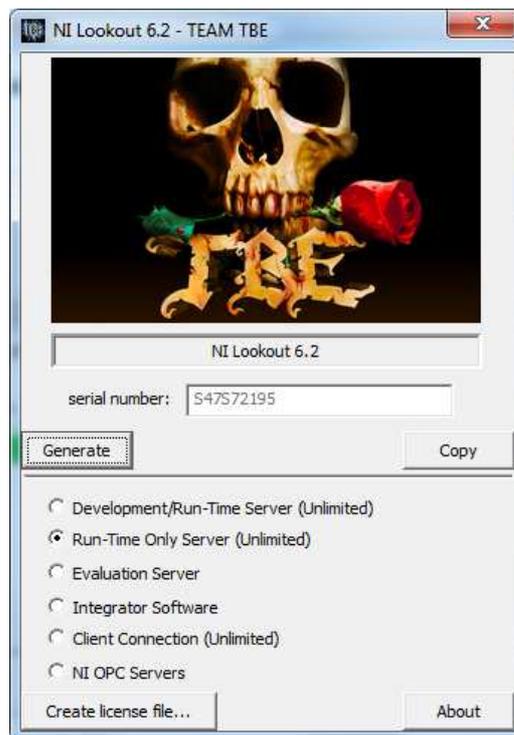


Figura IV - 51 Generar serie del producto

4. Aceptar la pantalla de Bienvenida.
5. Llenar la información solicitada con un nombre, un nombre de organización y un número serial para el producto.

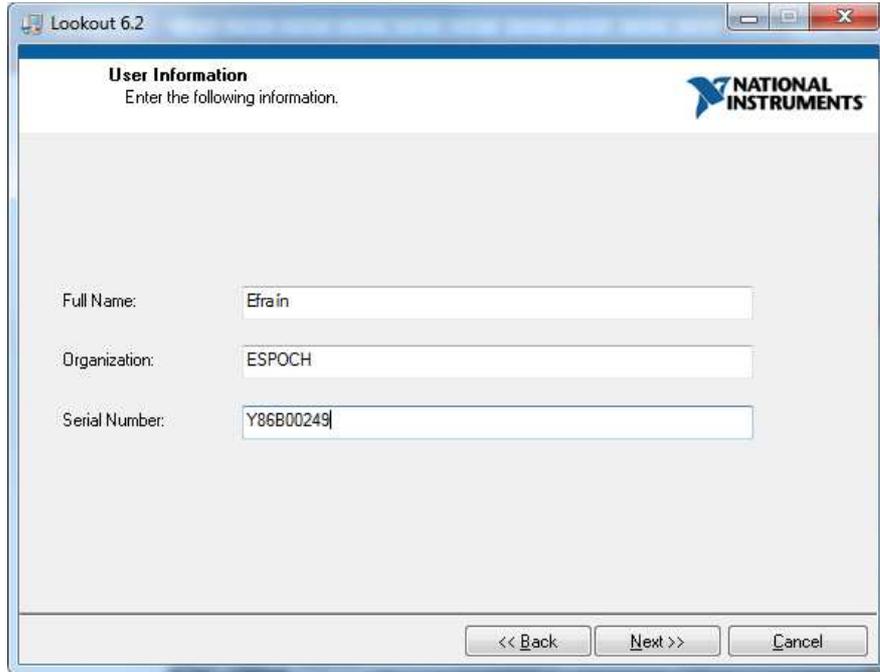


Figura IV - 52 Información de usuario

6. Seleccionar la ruta de instalación

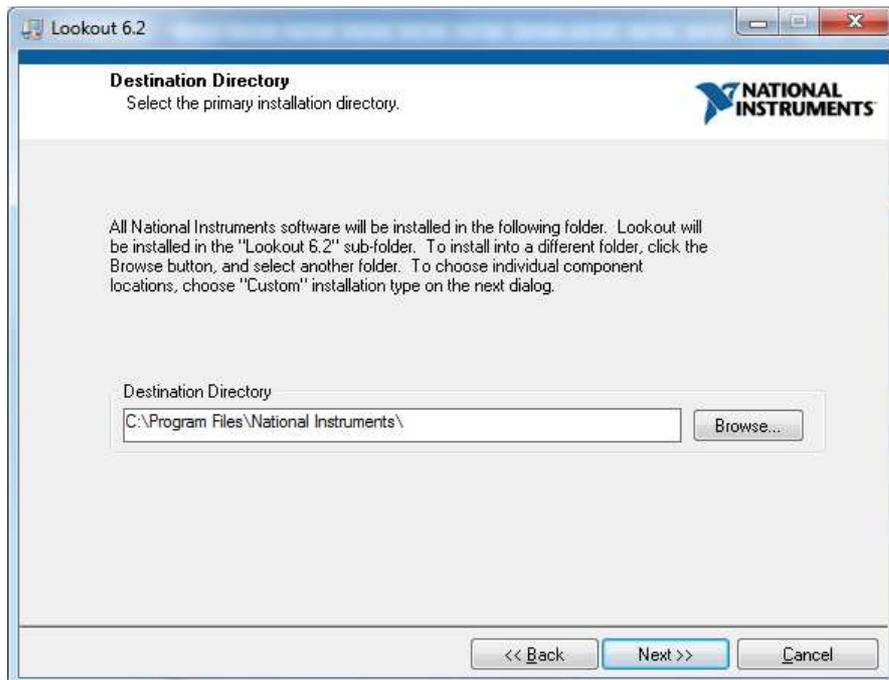


Figura IV - 53 Directorio de destino de LookoutV6.2

7. Seleccionar Instalación completa

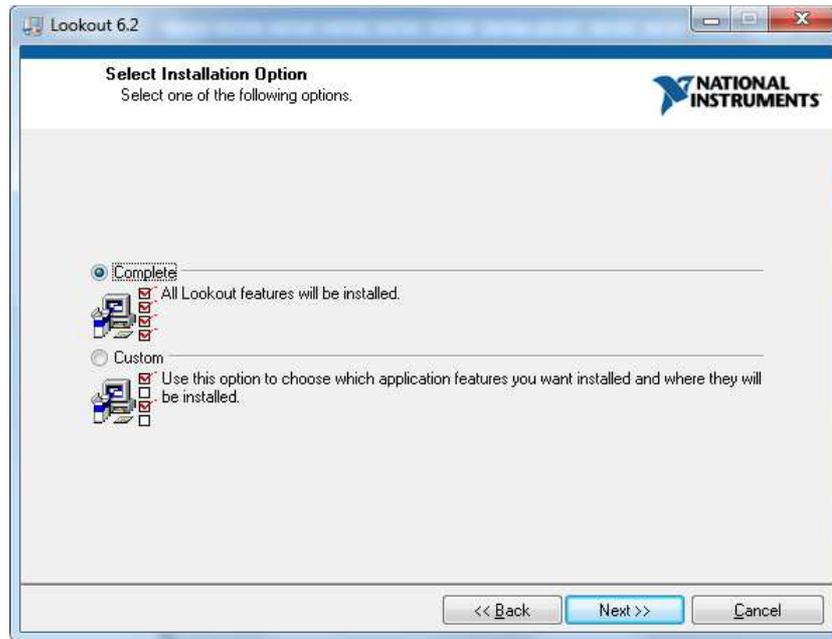


Figura IV - 54 Selección de opción de instalación

8. Aceptar el Acuerdo de Licencia
9. Iniciar la instalación

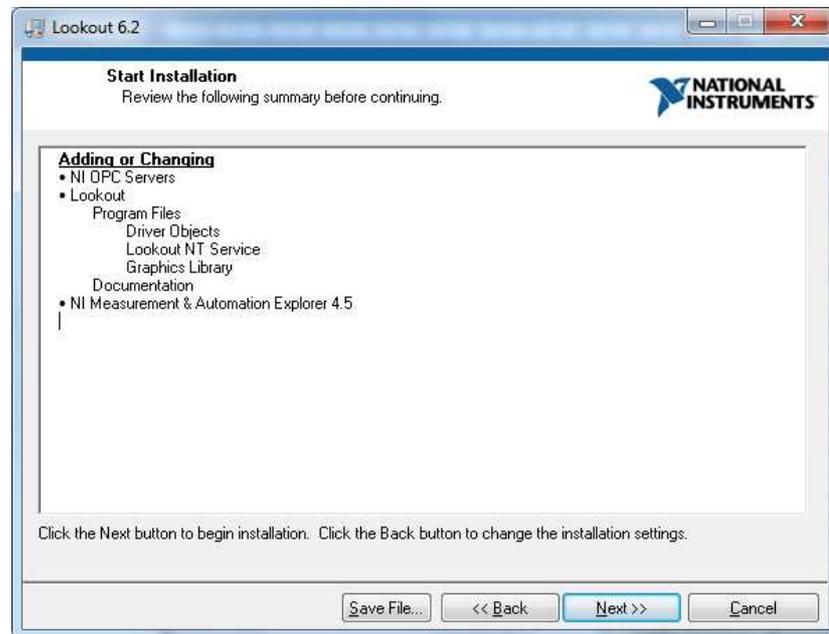


Figura IV - 55 Inicio de instalación de LookoutV6.2

10. Instalar paquetes de LookoutV6.2

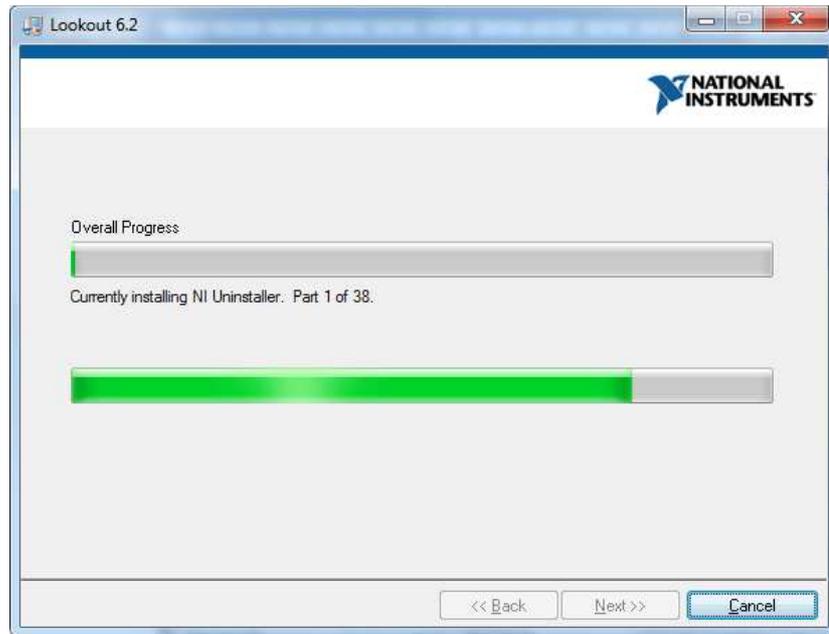


Figura IV - 56 Proceso de instalación de paquetes

11. Finalizar la Instalación
12. Reinicie el equipo
13. Inicio del programa LookoutV6.2

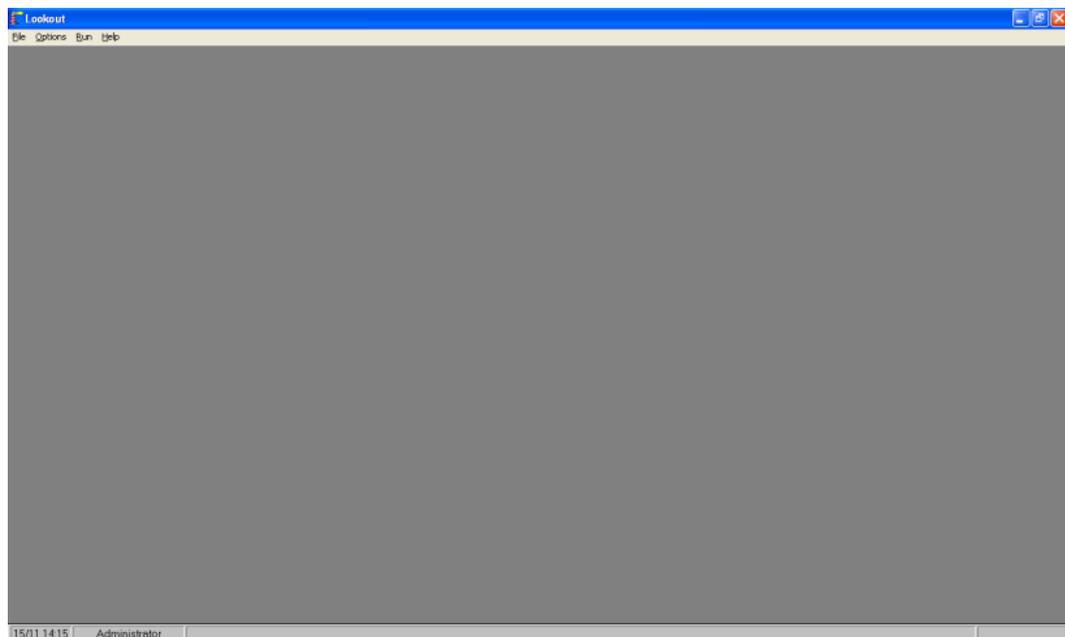


Figura IV - 57 Interfaz de programación de LookoutV6.2

4.2.1.3.2.3 Instalación de QModbusV2.0

Este programa sirve para gestionar todos los dispositivos Modbus presentes en la red.

La instalación se procede de la siguiente manera

1. Ejecutar el instalador de QModbus 2.0

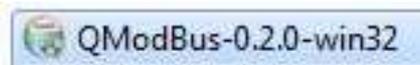


Figura IV - 58 Instalador de QModbusV2.0

2. Aceptar la pantalla de bienvenida
3. Aceptar contrato de licencia
4. Seleccionar la ruta de instalación

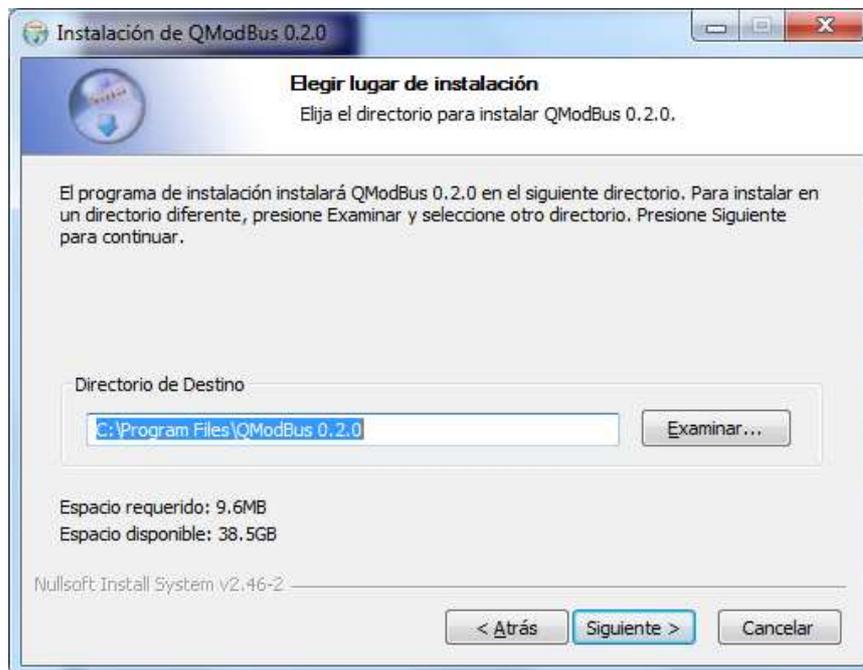


Figura IV - 59 Ruta de instalación de QModbusV2.0

5. Elegir la carpeta de inicio

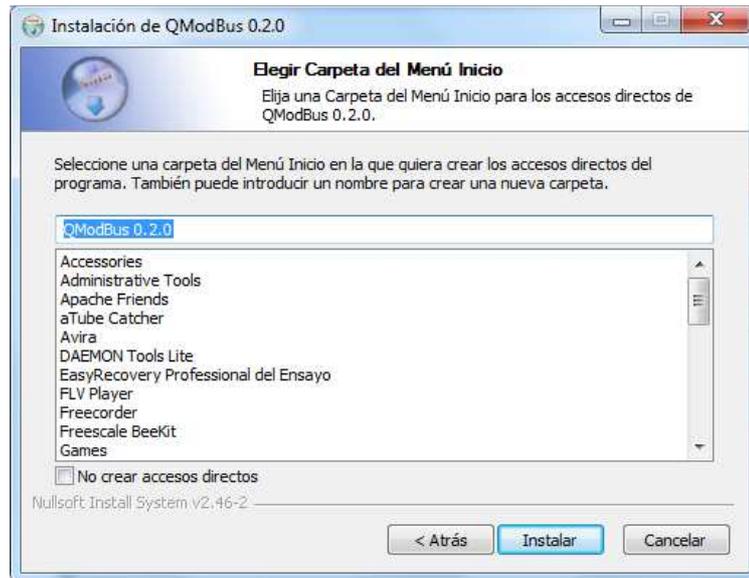


Figura IV - 60 Selección de carpeta de inicio de QModbusV2.0

6. Instalar paquetes de QModbusV2.0

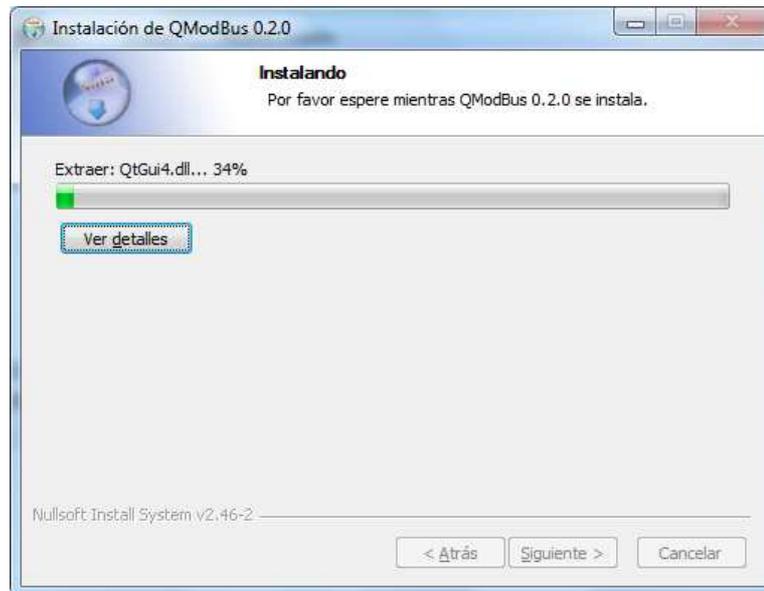


Figura IV - 61 Proceso de instalación de QModbusV2.0

7. Finalizar la instalación

8. Iniciar QModbusV2.0.

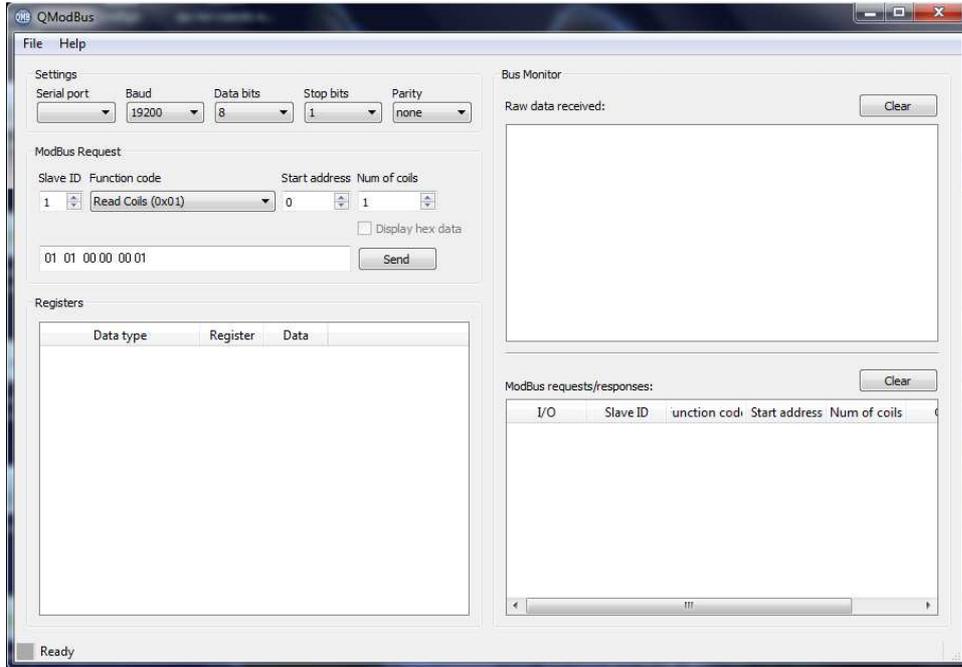


Figura IV - 62 Interfaz de trabajo de QModbusV2.0

4.2.1.3.3 Creación de la Red ZigBee

Para crear la red ZigBee para aplicaciones industriales se procede a seguir los siguientes pasos:

1) Direccionamiento de los dispositivos de la Red

Gateway Modbus USB – ZigBee

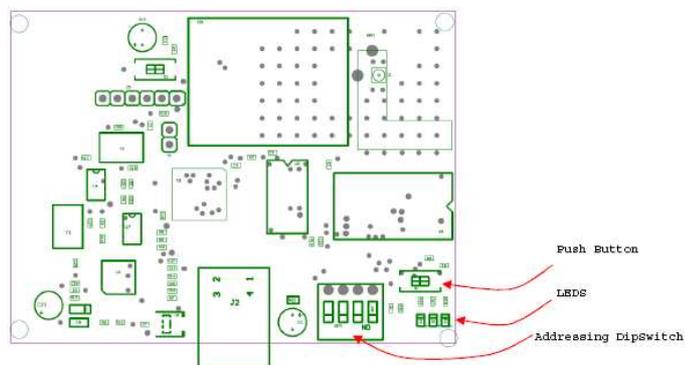


Figura IV - 63 Data Sheet Gateway Modbus USB – ZigBee

El dispositivo puede ser direccionado por el DipSwitch. El rango de direcciones válidas va desde 1 a 7.

El DipSwitch se lee como sigue:

DIP1 = bit menos significativo; ON=1.

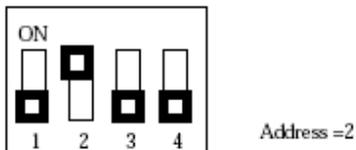


Figura IV - 64 Dirección del Gateway Modbus USB – ZigBee

Nota:

DIP4 no se usa para asignar una dirección pero se usa para escoger la velocidad del puerto Serial.

El DipSwitch es leído solo al evento de reinicio. Una modificación en la posición del DipSwitch es tomado en consideración solo después de reinicio del dispositivo.

ZigBee Module With Relay (ZR-TIREL2-EM)

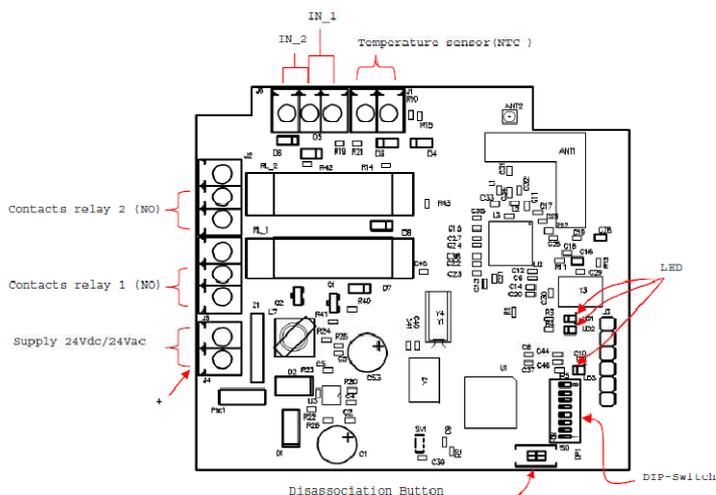


Figura IV - 65 Data Sheet del ZigBee Module With Relay

De igual manera este dispositivo se direcciona por un dip-switch, las direcciones validas son en el rango de 16-127.

El DipSwitch es leído solo al evento de reinicio. Una modificación en la posición del DipSwitch es tomado en consideración solo después de reinicio del dispositivo.

Poner el DipSwitch antes de encender el dispositivo y antes de insertar a la red.

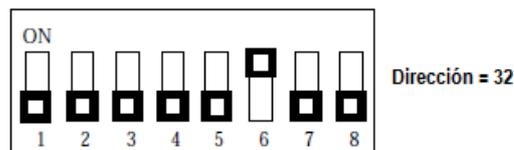


Figura IV - 66 Dirección del ZigBee Module With Relay

Atención

Tenga cuidado al asignar las direcciones. Dos equipos con la misma dirección que inserta sus datos en un contenedor el Gateway y estos generarían ambigüedad, lo que sería difícil identificar en posteriores operaciones de Red.

2) Crear la Red

Abrir la red

Para crear la red primeramente se debe abrir la red, para esto presionar el push-button del Gateway.

Unir dispositivos a la red

Para unir dispositivos ZigBee tipo Routers a la red no necesitan de ninguna estimulación por lo que si el dispositivo se enciende y no pertenece a una red, automáticamente empieza a escanear en busca de una red disponible, este proceso dura aproximadamente unos 20 segundos.

Cerrar la red

Una vez unido los dispositivos a la Red se procede a cerrar la misma, este proceso se lo realiza presionando nuevamente el push-button del Gateway, si no se cierra la red esta automáticamente lo cierra después de 15 minutos de haber abierto la red.

4.2.1.3.4 Configuración de dispositivos ZigBee

Una vez creado la red de dispositivo ZigBee se debe configurar ciertos parámetros para un mejor funcionamiento del mismo.

4.2.1.3.4.1 Configuración Gateway Modbus USB - ZigBee

1) PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN SERIAL

El Gateway puede acceder a sus propios datos y los del resto de los dispositivos que forman la red utilizando el protocolo de comunicación Modbus-RTU Serial.

Para una mejor comprensión del estándar Modbus referirse a la documentación pertinente.

Los parámetros de comunicación serial son los siguientes:

Velocidad: 19200 bps (DIP 4 = ON)

Bits de datos: 8

Paridad: Ninguno

Bits de parada: 2

Control de flujo: Ninguno

2) MODO DE TRABAJO

El modo de trabajo nos sirve para permitir la comunicación con los dispositivos Modbus conectados a través del Bridge ZigBee – ModBus RS485.

La variable no volátil HoldingRegister [3] (modo de trabajo) gestiona algunas acciones del Gateway.

Bit#0 Modo de trabajo - Tiempo de espera de la gestión de la comunicación:

Bit#1 Modo de trabajo - Gestión de las excepciones de respuesta

Bit#2 Modo de trabajo - Transmisión hacia la gestión de bridges

Bit#3 Modo de trabajo – Modalidad de lectura del Holding Registro

Bit#4 Modo de trabajo - Facilitar el acceso a la tabla de información del Router

El valor por defecto para el parámetro Modo de trabajo es igual a 21

(Bit # 0 = 1, el bit # 1 = 0, el bit # 2 = 1, el bit # 3 = 0, el bit # 4 = 1).

2.1) Bit#2 del Modo de trabajo - Transmisión hacia la gestión de Bridges

Modo de trabajo, bit#2 = 0:

Con el software QModbus establecer el bit#2 en 0 para permitir la comunicación, en este caso escribir en el HoldingRegister [3] del Gateway el valor de igual a 17, el mismo que en binario es representado por 10001.

3) Establecer direcciones máximas y mínimas para dispositivos Modbus conectados a través del Bridge ZigBee – ModBus RS485.

Es posible establecer el mínimo y la dirección de máxima permitida para los dispositivos conectados a través de Router-Bridge.

Para esto en HoldingRegister[11-12] del Gateway se debe poner las direcciones máximas y mínimas permitidas.

HoldingRegister [11] = mínima permitida para los dispositivos de dirección conectados a través de Router-Bridge (valor por defecto = 1)

HoldingRegister [12] = máximo permitido para los dispositivos de dirección conectados a través de Router-Bridge (valor predeterminado = 247).

4.2.1.3.4.2 Configuración Bridge ZigBee – Modbus RS485

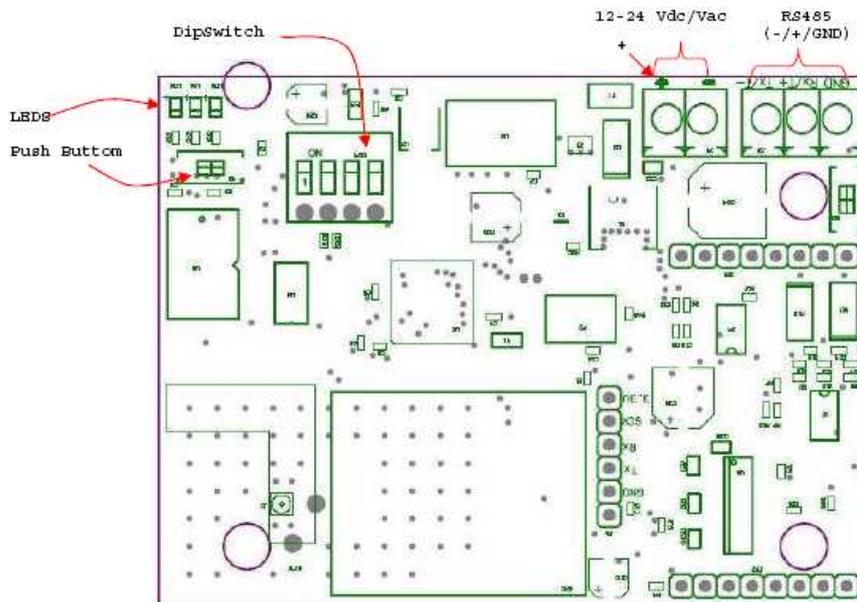


Figura IV - 67 Data Sheet del Bridge Modbus RS485

CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS MODBUS CONECTADOS CON EL ROUTER-BRIDGE

El Router-Bridge puede conectar al Gateway ZB-Conexión uno o más dispositivos Modbus.

Los dispositivos conectados deben cumplir con la norma o estándar Modbus-RTU.

Los dispositivos Modbus se interconectan con el Router-Bridge por el puerto RS485.

En este dispositivo se tiene que configurar los parámetros de comunicación con los dispositivos conectados a él, estos parámetros se describen a continuación:

Velocidad: 19200.

Bits de datos: 8

Paridad: Ninguno

Bits de parada: 1

Control de flujo: Ninguno

Esta configuración se lo realiza mediante el Dip-Switch de este dispositivo y los parámetros se corresponden de acuerdo a la siguiente tabla IV -V.

Tabla IV - V Parámetros comunicación serial Bridge ZigBee – Modbus RS485

DIP1 (baudrate)	DIP2	DIP3	DIP4 (stopbit)	Velocità	Parità	StopBit
OFF	OFF	OFF	OFF	9600	nessuna	2
ON	OFF	OFF	OFF	19200	nessuna	2
OFF	ON	OFF	OFF	9600	even - pari	2
ON	ON	OFF	OFF	19200	even - pari	2
OFF	OFF	ON	OFF	9600	nessuna	2
ON	OFF	ON	OFF	19200	nessuna	2
OFF	ON	ON	OFF	9600	odd - dispari	2
ON	ON	ON	OFF	19200	odd - dispari	2
OFF	OFF	OFF	ON	9600	nessuna	1
ON	OFF	OFF	ON	19200	nessuna	1
OFF	ON	OFF	ON	9600	even - pari	1
ON	ON	OFF	ON	19200	even - pari	1
OFF	OFF	ON	ON	9600	nessuna	1
ON	OFF	ON	ON	19200	nessuna	1
OFF	ON	ON	ON	9600	odd - dispari	1
ON	ON	ON	ON	19200	odd - dispari	1

Para permitir la comunicación con el dispositivo Modbus (PLC) se estable lo siguiente:

DIP1 = ON, DIP2 = OFF, DIP3 = OFF, DIP4 = ON



Figura IV - 68 Parámetros de comunicación en el Bridge Modbus

4.2.1.3.5 Conexión de Dispositivos ZigBee a procesos industriales

4.2.1.3.5.1 Conexión Bridge RS485 a la Interfaz TWDNAC485T del PLC

El Bridge ZigBee – Modbus RS485 tiene una interfaz RS485 de tres hilos donde consta las siguientes salidas:

GND, TX/T-, RX/T+

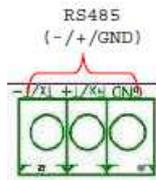


Figura IV - 69 Interfaz RS485 del Bridge ZigBee – Modbus RS485

Estas tres salidas se conectan a la tarjeta de comunicación **TWDNAC485T del PLC**, la misma tiene tres salidas (+) A, (-) B y SG.



Figura IV - 70 Tarjeta de comunicación TWDNAC485T

La forma de conexión es la siguiente:

La salida **Rx/T+** del puerto RS485 del Bridge ZigBee – Modbus RS485 se conecta a la salida (+) **A** de la tarjeta de comunicación **TWDNAC485T** del PLC.

La salida **Tx/T-** del puerto RS485 del Bridge ZigBee – Modbus RS485 se conecta a la salida (+) **B** de la tarjeta de comunicación **TWDNAC485T** del PLC.

Finalmente La salida **GND** del puerto RS485 del Bridge ZigBee – Modbus RS485 se conecta a la salida **SG** de la tarjeta de comunicación **TWDNAC485T** del PLC.

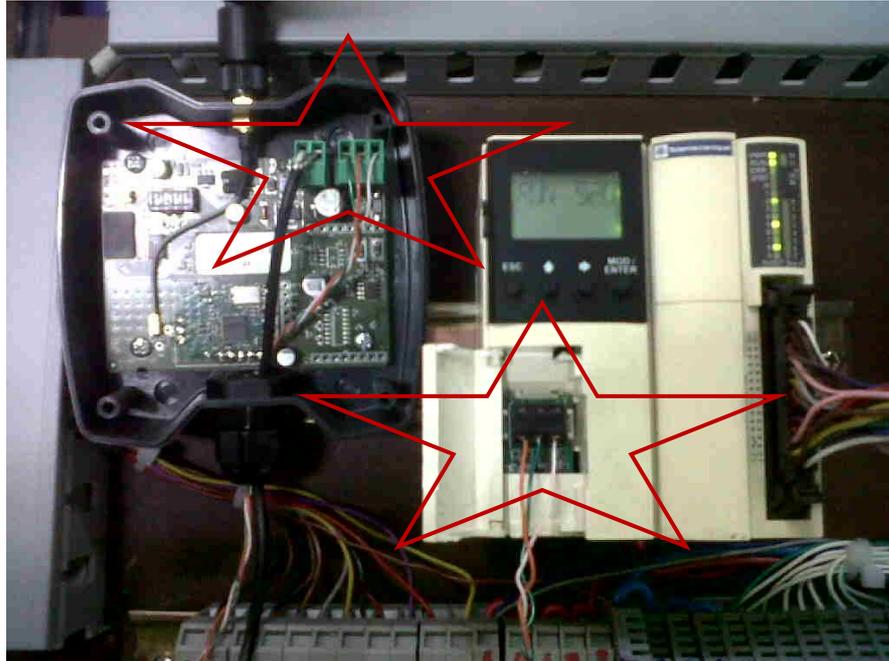


Figura IV - 71 Esquema de conexión puerto RS485 al TWDNAC485T

De esta manera se establece la comunicación entre los dos dispositivos.

4.2.1.3.5.2 Conexión ZigBee TIREL2 al Módulo Control de Iluminación

El dispositivo ZigBee Module With Relay posee dos relés, las mismas que pueden ser usadas para activar o desactivar un proceso.

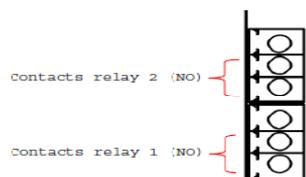


Figura IV - 72 Relés del ZigBee Module With Relay

Este dispositivo ZigBee controla un módulo control de iluminación, el mismo que consta de tres indicadores luminoso (Rojo, Amarillo y Verde) y una alarma.

El relé 1 se conecta a los indicadores luminosos y el relé 2 se conecta a la alarma.

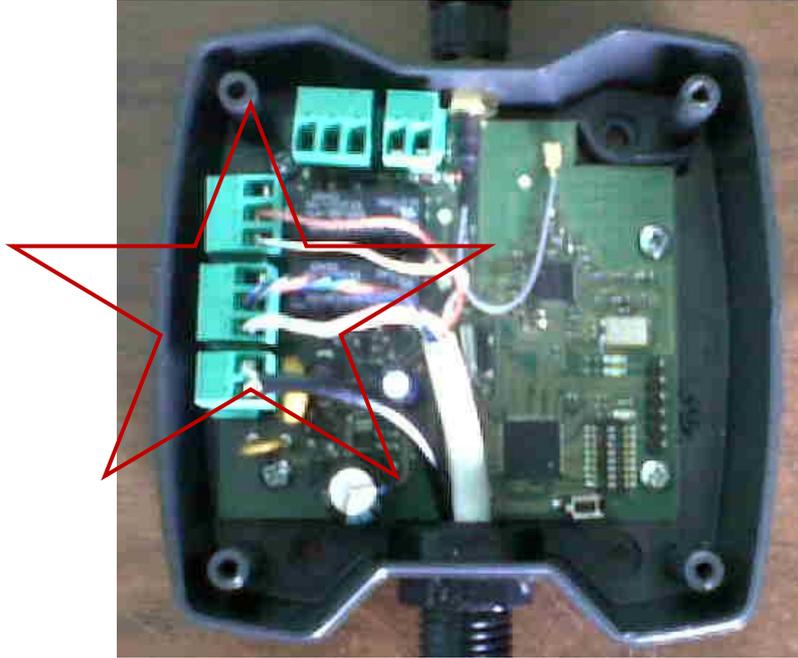


Figura IV - 73 Esquema de conexión a los relés del TIREL2

4.2.1.3.6 Configuración puerto de Comunicación TWDNAC485T del PLC

En este apartado se explica cómo se configura el puerto TWDNAC485T del PLC mediante el programa TwidoSoftV3.5.

1. Iniciar TwidoSoftV3.5.

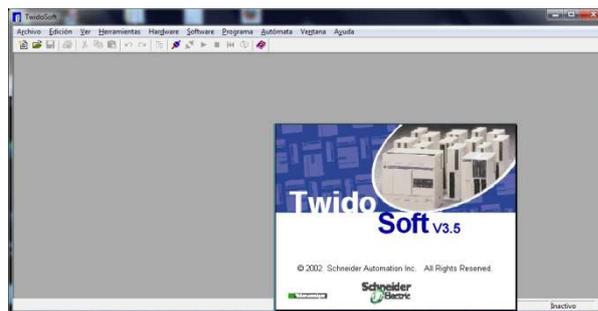


Figura IV - 74 Inicio de TwidoSoftV3.5

2. Abrir el programa que gestiona la Estación de Distribución

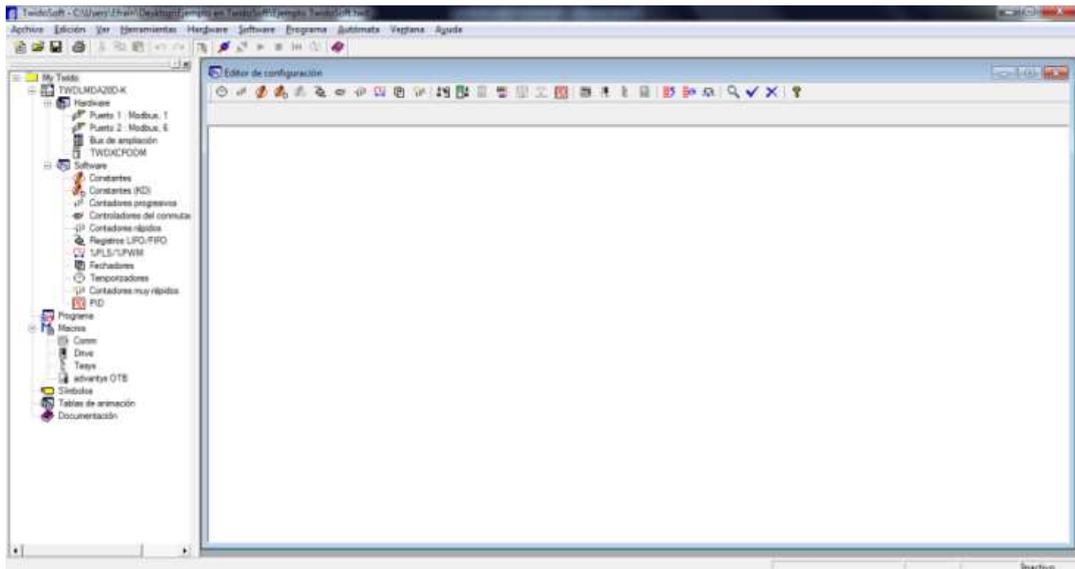


Figura IV - 75 Selección de un programa para TwidoSoftV3.5

3. Click derecho sobre el puerto 2, seleccione **editar configuración de com. Del controlador**

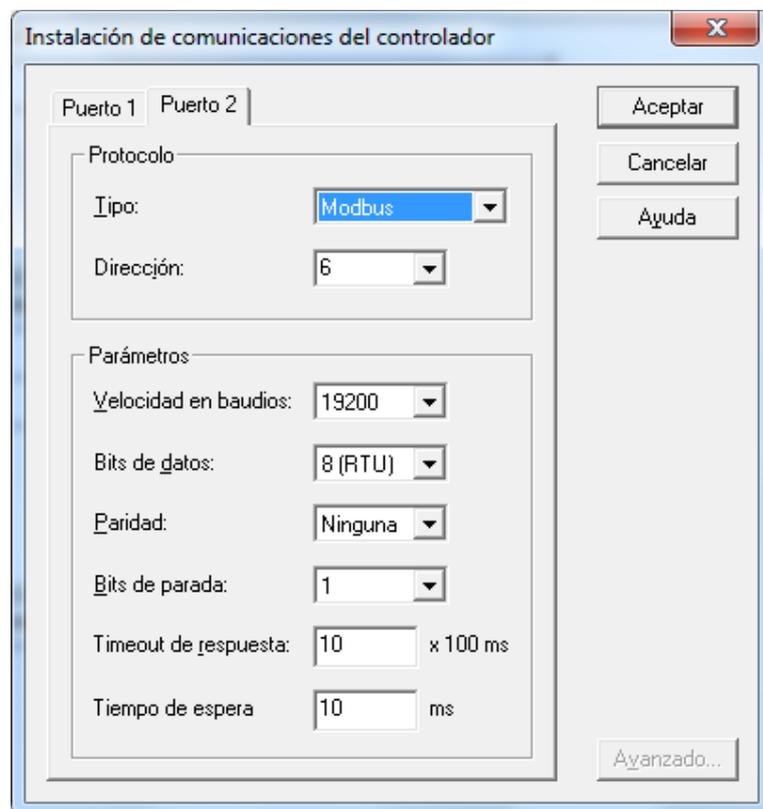


Figura IV - 76 Configuración puerto 2 del PLC

4. Llenar todos los campos y luego aceptar

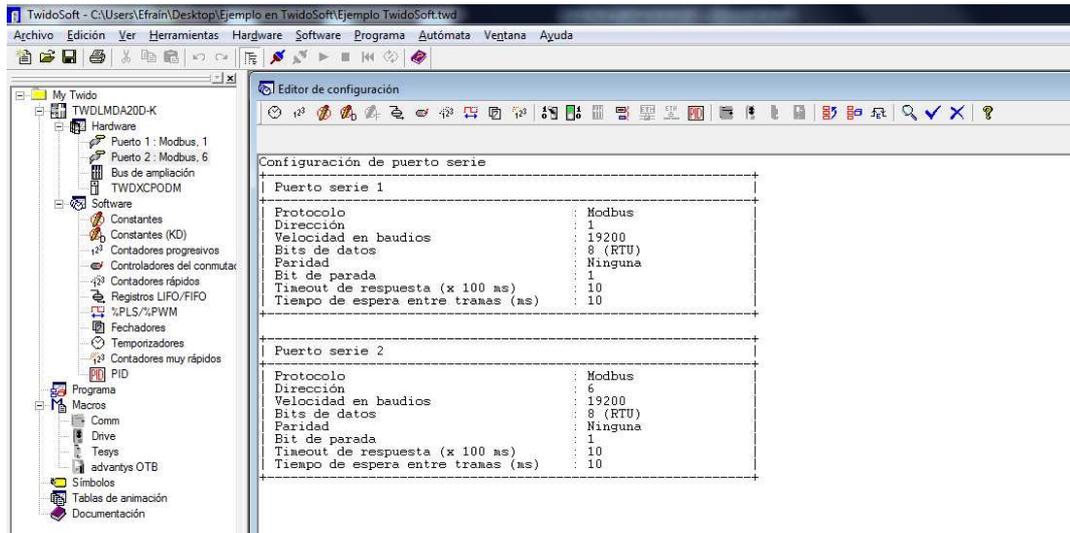


Figura IV - 77 Resumen configuración de puertos del PLC

4.2.1.3.7 Programación en LookoutV6.2

Aquí se detalla paso a paso la programación en lookoutV6.2 para construir nuestra aplicación.

1. Iniciar LookoutV6.2



Figura IV - 78 Icono inicio de LookoutV6.2

2. Crear una aplicación nueva en File_New, dar un nombre al proceso y luego aceptar.

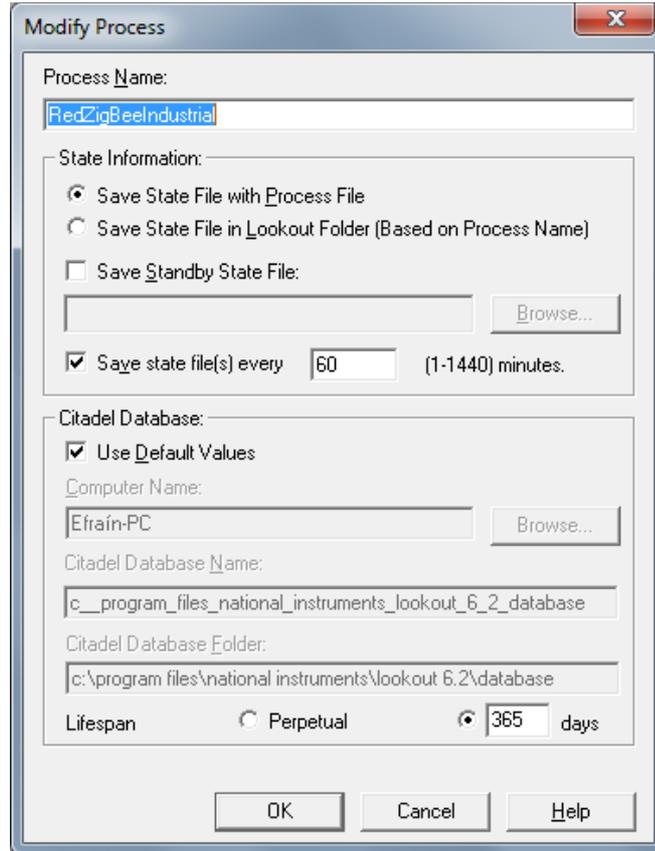


Figura IV - 79 Datos del proyecto a construir

3. Seleccionar un nombre y un título para el panel, posterior a esto aceptar.

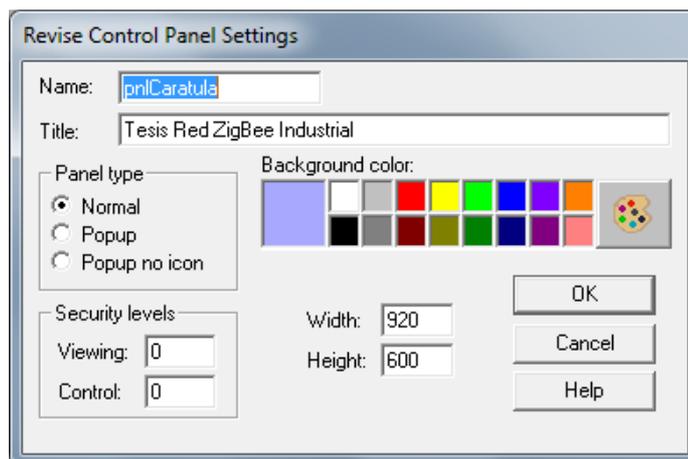


Figura IV - 80 Datos del Panel Tesis Red ZigBee Industrial

4. Agregar textos al panel, seleccionar insert_/text/Plate/inset.

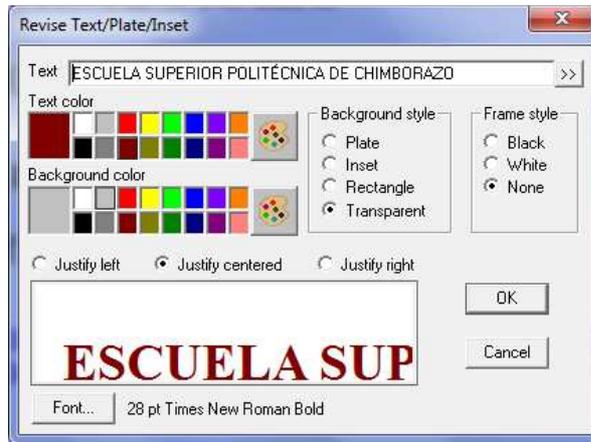


Figura IV - 81 Insertar un texto

Agregar un texto, seleccionar un color, el estilo del texto, tamaño y tipo, finalmente aceptar.

5. Agregar un botón para navegar entre paneles, en el panel de control seleccionar `objetc_create_PushButton`.
6. Seleccionar el lugar donde crear el objeto.
7. Seleccionar un nombre y un título para el botón, en Position Source, click derecho sobre URL, desplegar el nombre de su proyecto y buscar al panel que desee que el botón active, presionar Paste y acepte.

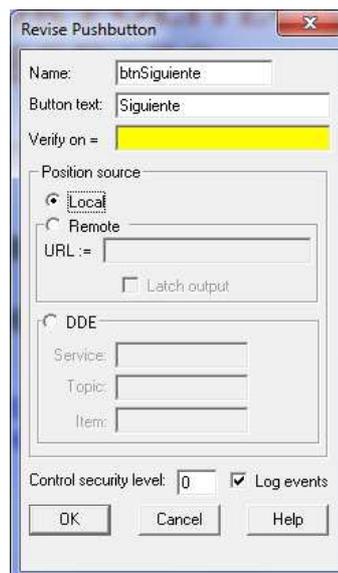


Figura IV - 82 Datos iniciales de un botón

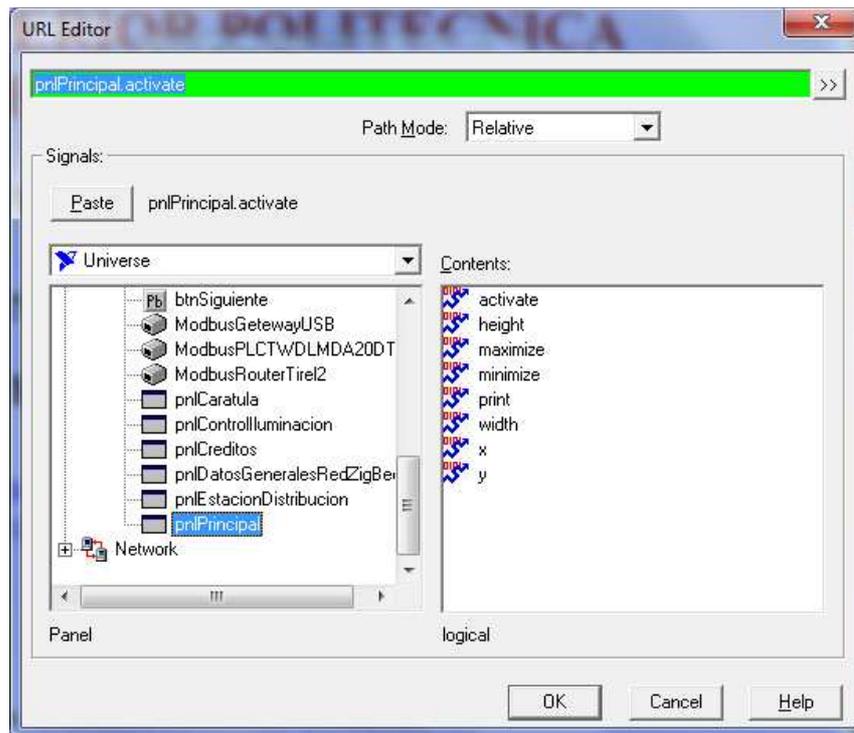


Figura IV - 83 Vincular un botón a un panel

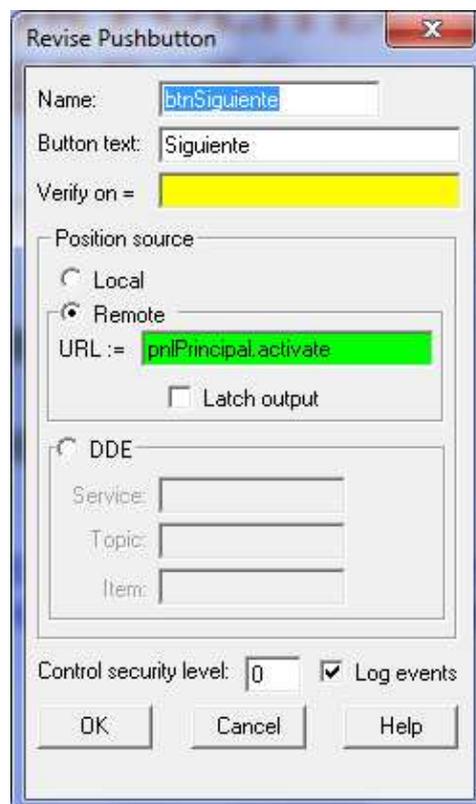


Figura IV - 84 Datos finales de un botón

8. Interfaz de presentación del proyecto.



Figura IV - 85 Interfaz de presentación del proyecto

9. Crear un panel menú principal, seleccionar object_create seleccionar Panel y aceptar.

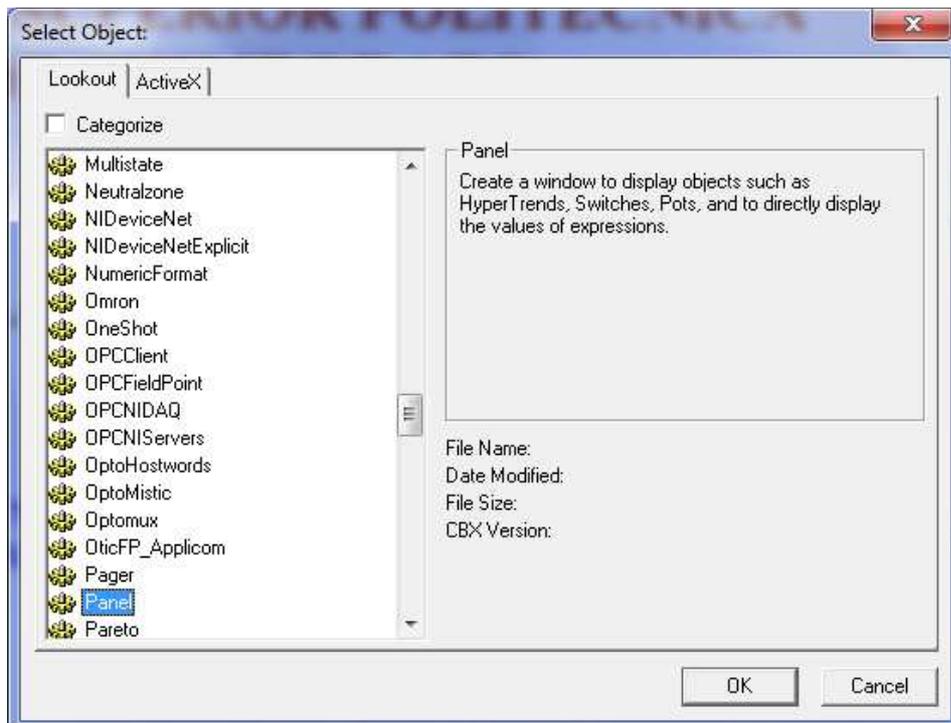


Figura IV - 86 Selección de objeto panel

10. Seleccionar un nombre y un título luego aceptar.

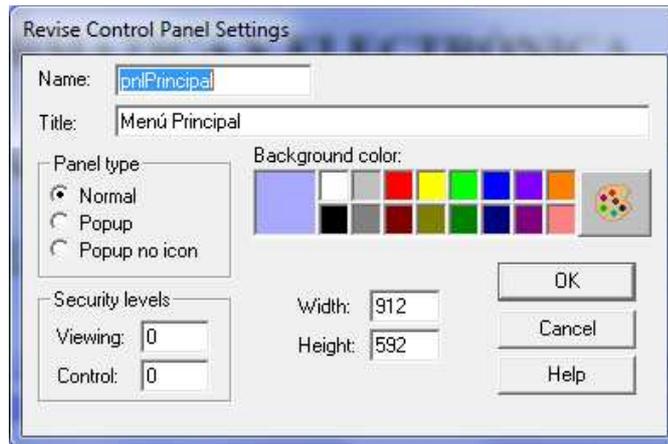


Figura IV - 87 Datos del panel menú principal

11. Crear un título (**RED ZIGBEE INDUSTRIAL**) y botones (Estación de Distribución, Control de Iluminación, Datos Red ZigBee y Créditos) para navegar por el proyecto, seguir los pasos 4, 5, 6 y 7 antes descritos.
12. Interfaz menú principal.



Figura IV - 88 Interfaz del menú principal

13. Crear un panel Estación de Distribución.
14. Crear los drivers Modbus para conectar el software LookoutV6.2 con los dispositivos ZigBee y el PLC, seleccionar object_create seleccionar Modbus

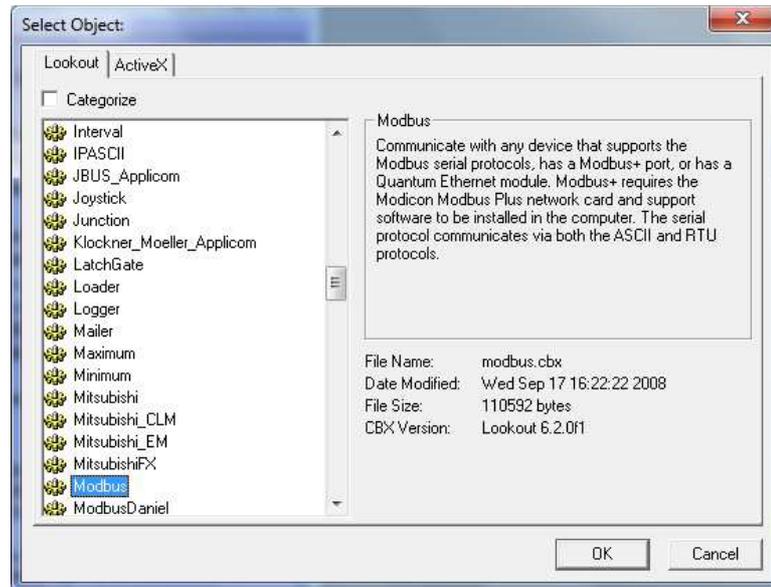


Figura IV - 89 Selección del objeto Modbus

15. Seleccionar el lugar de creación del objeto.
16. Proporcionar un nombre al driver, seleccionar la dirección Modbus del dispositivo a conectar, seleccionar el puerto de comunicación, velocidad de comunicación, paridad, bit de datos, bit de parada y aceptar.

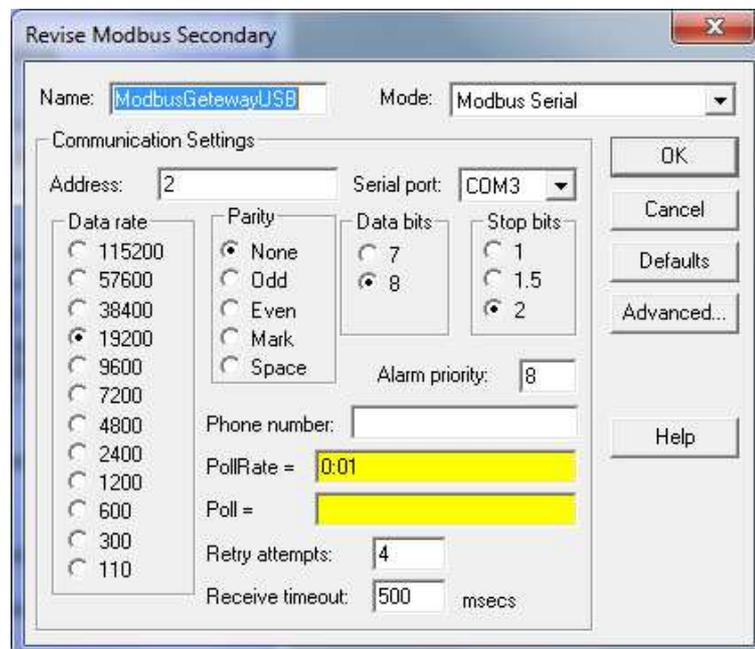


Figura IV - 90 Parámetros para el dispositivo Gateway

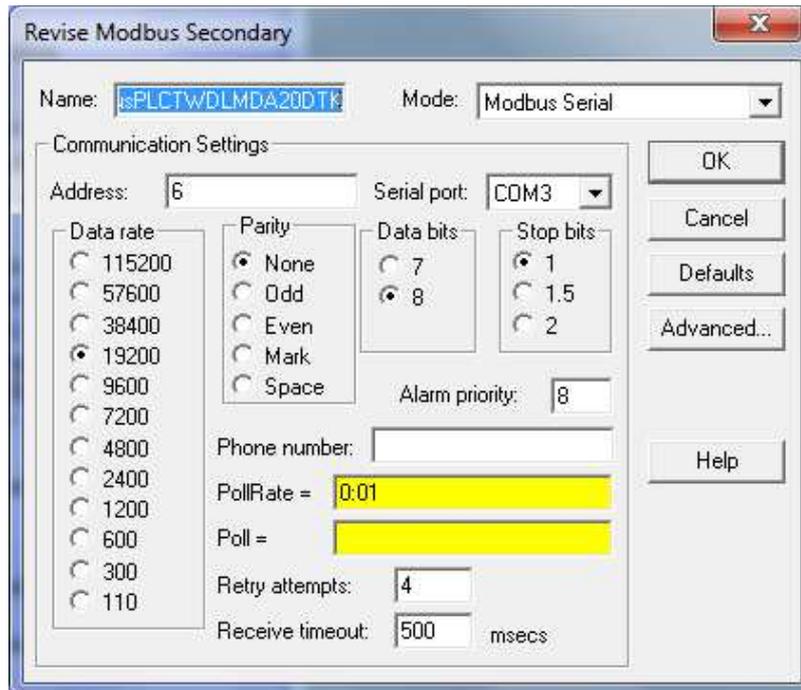


Figura IV - 91 Parámetros para el dispositivo PLC

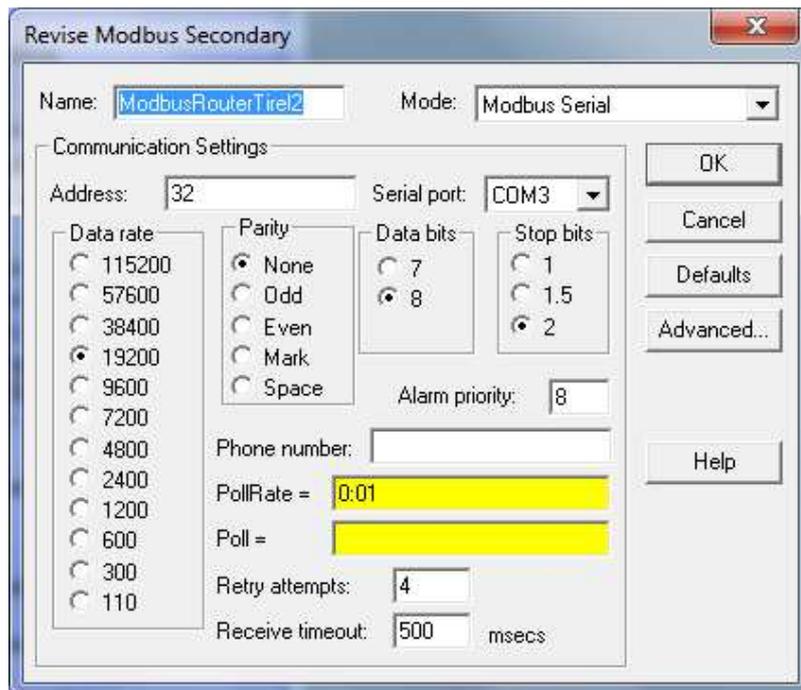


Figura IV - 92 Parámetros para el dispositivo ZigBee Module With Relay

17. Crear dos botones para control del proceso, uno para iniciar y para detener el proceso (color Verde y Rojo respectivamente).
18. Crear un animador en create_object.

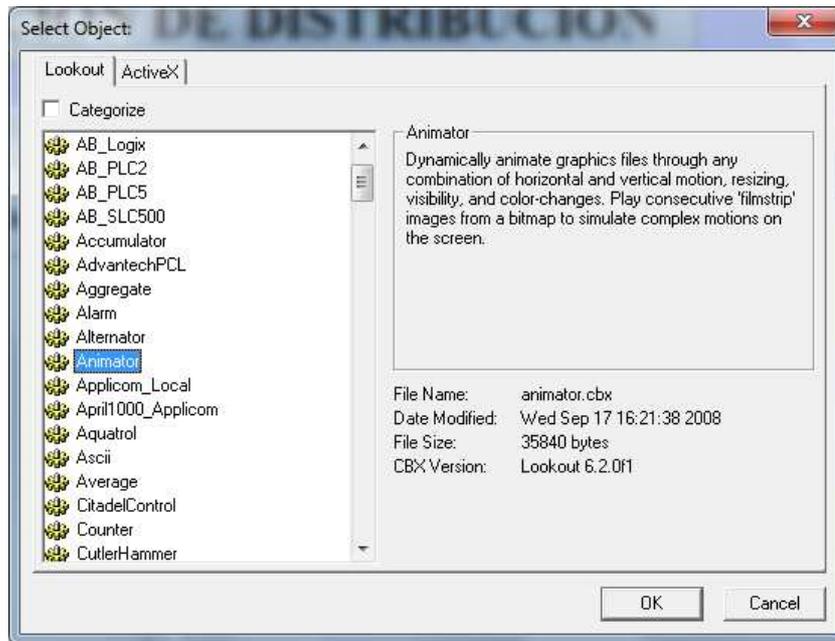


Figura IV - 93 Selección del objeto Animador

19. Seleccionar el lugar de creación del objeto.
20. Seleccionar un grafico representativo y aceptar.

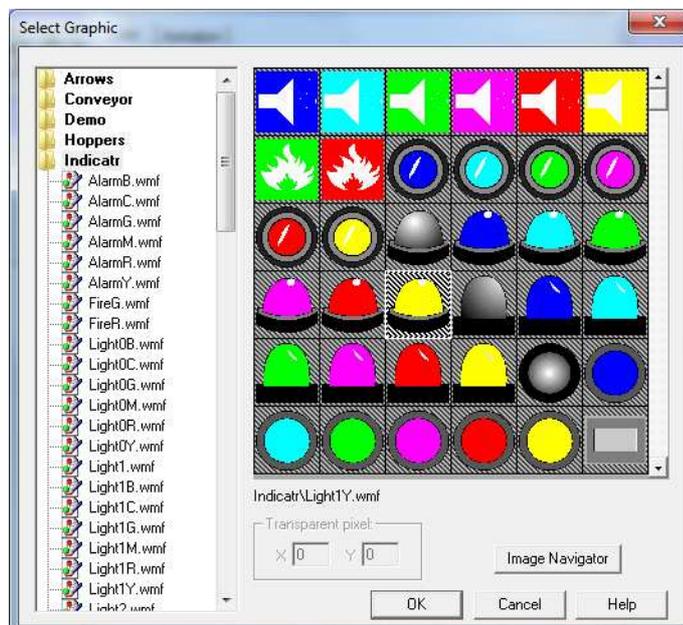


Figura IV - 94 Selección del grafico para objeto Animador

21. Seleccionar un nombre para el grafico y aceptar.

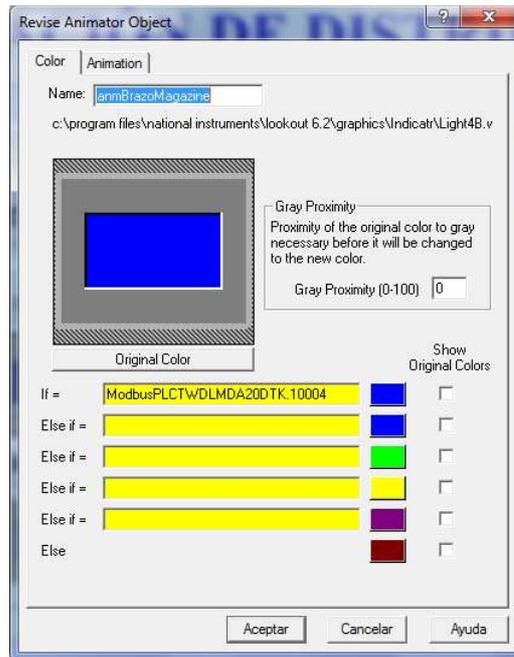


Figura IV - 95 Establecer un nombre al objeto Animador

22. Click derecho en if, seleccionar el driver antes creado (ModbusPLCTWDLMDA20DTK), seleccionar la salida del estado del Proceso que está representado desde la dirección 10001 a la 19999 y aceptar.

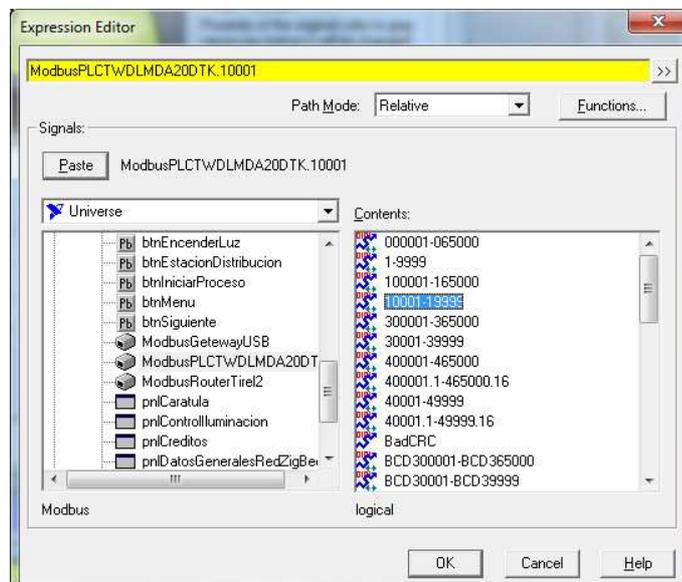


Figura IV - 96 Asociación del objeto animador a una salida del PLC

23. Crear un botón que regrese al menú principal.
24. Interfaz estación de distribución.



Figura IV - 97 Interfaz Estación de Distribución

25. Crear un panel control de iluminación, crear cuatro animadores tres para identificar al indicador luminoso (Rojo, Amarillo y Verde) y el cuarto para identificar la alarma (una bocina).

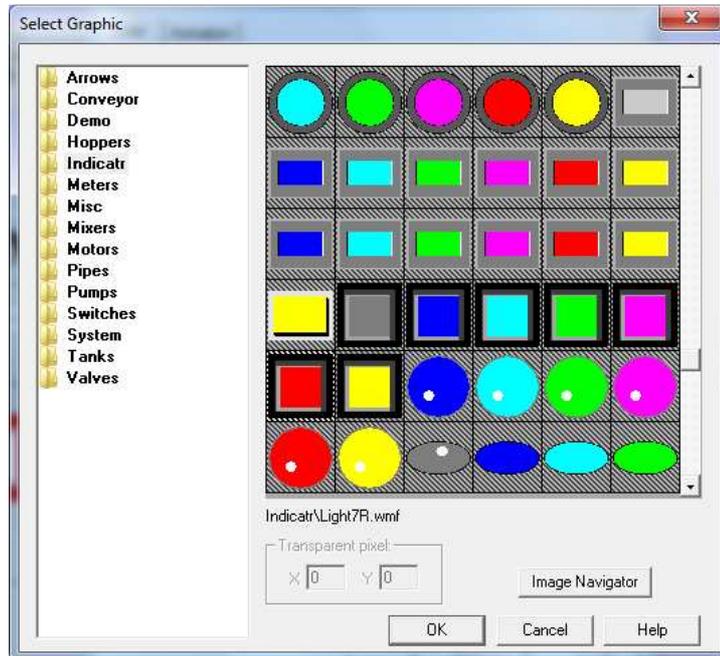


Figura IV - 98 Selección de gráfico para indicar luminoso

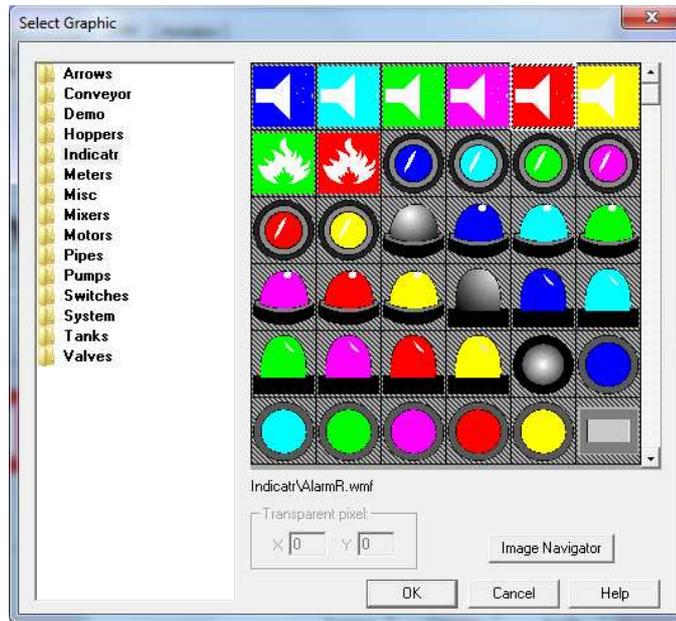


Figura IV - 99 Selección de grafico para alarma

26. Crear dos botones para encender y apagar el indicador luminoso (colores verde y rojo respectivamente), dos botones para activar y desactivar la alarma (color verde y rojo respectivamente), crear un botón para regresar al menú principal.
27. Interfaz control de iluminación.

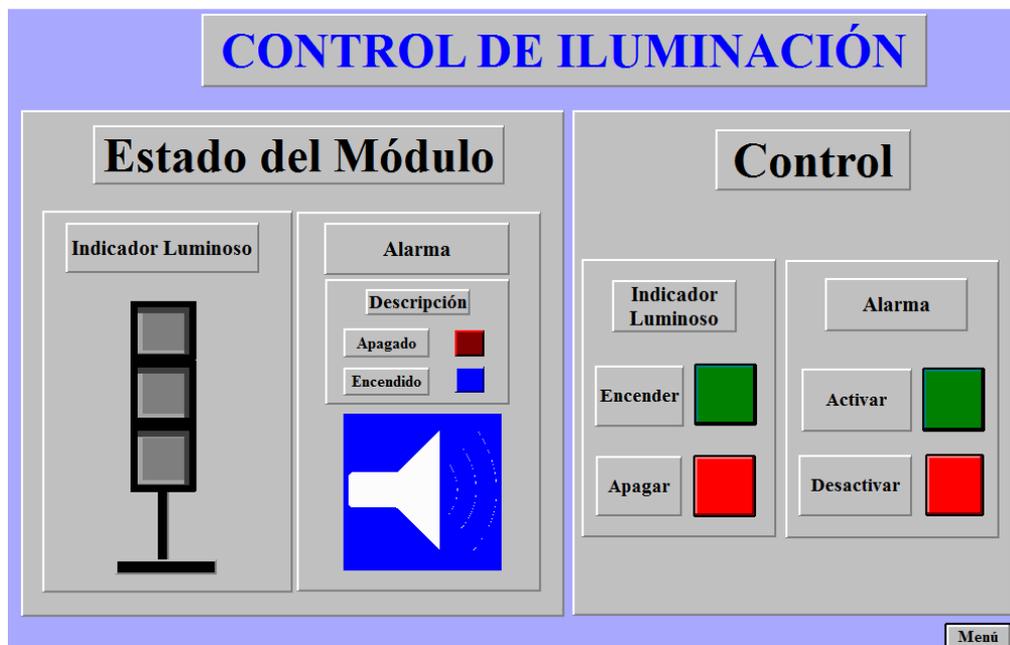


Figura IV - 100 Interfaz Control de Iluminación

28. Crear un panel Datos Generales Red ZigBee.

29. Crear una expresión que contenga los datos de cada uno de los dispositivos ZigBee (**Gateway Modbus USB – ZigBee, Bridge ZigBee – ModBus RS485, ZigBee module with relay**), seleccionar Insert_Expression, seleccionar el driver para el dispositivo(**Gateway Modbus USB – ZigBee**), seleccionar los inputsRegister del dispositivo que corresponden a las salidas 30001 a la 39999 del driver Modbus, presionar paste y aceptar.

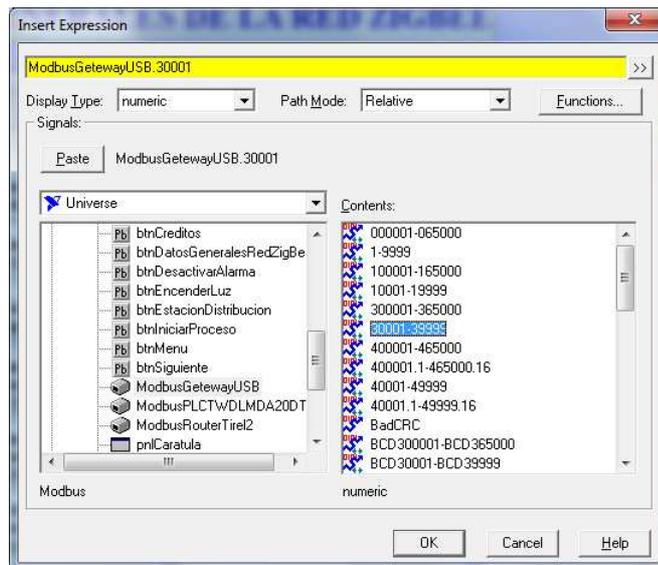


Figura IV - 101 Asociación del Objeto Modbus a una salida del Gateway

30. Seleccionar el color del texto, tamaño, color de fondo y aceptar.

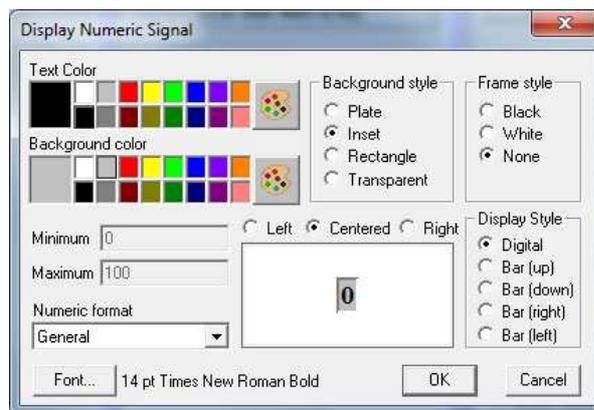


Figura IV - 102 Configuración del dato de salida del Gateway

31. Realizar los pasos 27 y 28 para cada uno de los datos a presentar, para los datos del Bridge ZigBee seleccionar el driver Modbus creados para este dispositivo,

de igual manera para los datos del ZigBee Module with relay, para ver los registros de cada uno de estos dispositivos revisar los manuales correspondientes, ver anexo II.

32. Interfaz Datos Generales Red ZigBee



Figura IV - 103 Interfaz de datos generales de la red ZigBee

33. Crear un panel Créditos, crear textos que contengan toda la información del desarrollo del proyecto y crear un botón para regresar al menú principal.

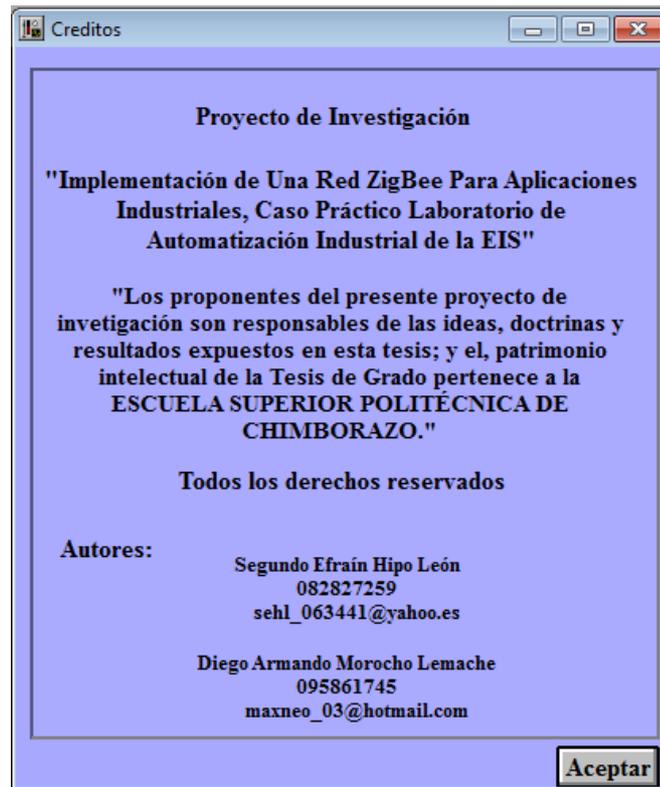


Figura VI - 104 Interfaz de Créditos del proyecto

4.2.1.4 FASE IV: Pruebas del sistema

Las pruebas se las debe llevar a cabo a medida que se va configurando el hardware y el desarrollo del software.

4.2.1.4.1 Pruebas Hardware

La realización de la pruebas hardware consiste en verificar los estados de los dispositivos ZigBee, del PLC, de la estación de distribución y del módulo control de iluminación, cuando inician los dispositivos ZigBee y cuando se configura se verifica a través de los leds que posee cada uno de estos, en cuanto al PLC verificar que el cableado de estradas y salidas este de acuerdo a su manual, la estación de distribución verificar que todos sus componentes funcionen correctamente y finalmente en cuanto al módulo control de iluminación todas sus conexiones eléctricas estén correctamente.

4.2.1.4.2 Pruebas Software

En este apartado se debe verificar el software que controla la estación de distribución, en este caso se debe controlar la secuencia del LADEER.

4.3 Demostración de Hipótesis

La hipótesis del presente estudio planteó que:

Mediante la implementación de una Red ZigBee para aplicaciones industriales se permitirá la gestión eficiente de los procesos industriales.

A partir de esta información se puede identificar las variables dependientes e independientes que intervienen.

h1= “Mediante la implementación de una Red ZigBee para aplicaciones industriales se permitirá la gestión eficiente de los procesos industriales”.

h0= “Mediante la implementación de una Red ZigBee para aplicaciones industriales NO se permitirá la gestión eficiente de los procesos industriales”.

OPERACIONALIZACIÓN CONCEPTUAL DE VARIABLES

Variable independiente: Implementación de una Red ZigBee para aplicaciones industriales

Variable dependiente: Gestión eficiente de los procesos industriales.

Tabla IV - VI Variables de la Hipótesis

Variables	Tipo	Concepto
Implementación de una red ZigBee para aplicaciones industriales	- Independiente - Compleja	Especificación de los recursos Hardware y software necesarios para la implementación de la red, así como sus principales características
Gestión eficiente de los procesos industriales	- Dependiente - Compleja	Usar tecnologías diferentes a las tradicionales para mejorar los procesos de comunicación inalámbrica. Usar herramientas software, para realizar el monitoreo de la red y verificar su eficiente funcionalidad.

INDICADORES

Usando la extensa información disponible acerca de la tecnología ZigBee, se observa las principales características, ventajas y usos de esta tecnología para su utilización en aplicaciones industriales.

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN).

ZigBee utiliza la banda ISM para usos industriales, científicos y médicos; en concreto, 868 MHz en Europa, 915 en Estados Unidos y 2,4 GHz en todo el mundo.

Los protocolos ZigBee están definidos para su uso en aplicaciones con requerimientos muy bajos de transmisión de datos y consumo energético. Se pretende su uso en aplicaciones de propósito general con características auto organizativas y bajo costo (redes en malla, en concreto).

Es más sencillo y eficaz implementar una red con tecnología ZigBee debido a que una red ZigBee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, frente a los 8 máximos de una subred (Piconet) de otras tecnologías similares.

A continuación se detallan algunos indicadores que van a ser valorizados los cuales nos permitirán establecer mediciones tanto de la variable independiente como de las variables dependientes.

Indicadores de la Variable Independiente

- Aplicaciones
- Amplias áreas de cobertura
- Tasa de transferencia
- Ahorro de energía
- Simplicidad
- Seguridad
- Flexibilidad
- Costos infraestructura
- Movilidad
- Desplazamiento
- Escalabilidad
- Garantía
- Modulación de la señal
- Soporta varios sistemas operativos
- Forma de acceso al canal

Indicadores de la Variable Dependiente

- Control
- Monitoreo
- Tiempo de respuesta
- Comunicación
- Estética
- Satisfacción
- Fiabilidad
- Disponibilidad
- Cumplimiento
- Evaluación
- Conectividad
- Comprobación
- Manejabilidad
- Movilidad
- Configuración

OPERACIONALIZACIÓN METODOLÓGICA

Tabla IV - VII Operacionalización Metodológica

Variable	Indicador	Técnica	Fuente de Verificación
Implementación de una red ZigBee para aplicaciones industriales	-Aplicaciones -Amplias áreas de cobertura -Tasa de transferencia -Ahorro de energía -Simplicidad -Seguridad -Flexibilidad	-Revisión de documentación de los productos de estudio. -Pruebas y monitoreo de	-Manuales Técnicos. -Manuales de Usuario. -Consulta internet. -Políticas de seguridad e implementación de redes.

	<ul style="list-style-type: none"> -Costos infraestructura -Movilidad -Desplazamiento -Escalabilidad -Garantía -Modulación de la señal -Soporta varios sistemas operativos -Forma de acceso al canal 	<ul style="list-style-type: none"> la red. -Revisión de portales Web. -Técnicas de observación. -Solicitud de soporte técnico 	<ul style="list-style-type: none"> -Documentación de los productos. -Ayuda de las herramientas. -Referencias Bibliográficas
<p>Gestión eficiente de los procesos industriales</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Control -Monitoreo -Tiempo de respuesta -Comunicación -Estética -Satisfacción -Fiabilidad -Disponibilidad -Cumplimiento -Evaluación -Conectividad -Comprobación -Manejabilidad -Movilidad -Configuración 		

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON

Para la comprobación de la hipótesis que establece la relación directa entre dos variables, en el presente trabajo de investigación se ha utilizado el estadístico del coeficiente de correlación de Pearson. Este índice nos indica el grado de relación

existente entre dos variables. Puede oscilar entre 1 y -1. Cuando el coeficiente es próximo a 0 es que no existe relación entre las variables.

Tabla IV - VIII Valores de factores de correlación

r	Significado de correlación
=1	Grande, perfecta, positiva
0.90 – 0.99	Muy alta positiva
0.70 – 0.89	Alta positiva
0.40 – 0.69	Moderada positiva
0.20 – 0.39	Baja positiva
0.01 – 0.19	Muy baja positiva
=0	Nula
-0.01 a -0.19	Muy baja negativa
-0.20 a -0.39	Baja negativa
-0.40 a -0.69	Moderada negativa
-0.70 a -0.89	Alta moderada
-0.90 a -0.99	Muy alta negativa
-1	Grande negativa

Con un nivel de significancia $\alpha = 0.05 = 5\%$ y un número de grados de libertad de $v = n - L$, siendo n el número de características evaluadas y L el número de variables que intervienen; $v = 30 - 2 = 28$. En la tabla de significación del coeficiente de correlación de Pearson basada en la ley de Snodcor (Ver anexo IV). Se tiene que el coeficiente será significativo si es igual o superior a **0.381**

De forma que la hipótesis se expresa como sigue:

$$H_0: |r_{xy}| < 0.381$$

$$H_1: |r_{xy}| \geq 0.381$$

$$v = 28$$

$$\alpha = 0.05$$

Siendo:

X = Variable independiente: Implementación de una red ZigBee para aplicaciones industriales

Y = Variable dependiente: Gestión eficiente de los procesos industriales

Las siguientes tablas comparativas, muestran la relación de indicadores de las variables de la hipótesis, estos indicadores están calificados con valores de 1 a 10.

Tabla IV - IX Cuadro comparativo de red

Indicador	Redes Inalámbricas (Bluetooth y Wifi)	Red ZigBee
• Aplicaciones	8	6
• Amplias áreas de cobertura	9	10
• Tasa de transferencia	10	9
• Ahorro de energía	8	9
• Simplicidad	9	9
• Seguridad	8	10
• Flexibilidad	10	10
• Costos infraestructura	9	8
• Movilidad	9	9
• Desplazamiento	8	9
• Escalabilidad	9	10
• Garantía	9	10
• Modulación de la señal	9	8
• Soporta varios sistemas operativos	8	8
• Forma de acceso al canal	8	10
Promedio	8,73	9

Tabla IV - X Cuadro comparativo gestión de la red

Indicador	Redes Inalámbricas (Bluetooth y Wifi)	Red ZigBee
• Control	8	8
• Monitoreo	9	9
• Tiempo de respuesta	9	10
• Comunicación	9	9
• Estética	9	9
• Satisfacción	8	9
• Fiabilidad	9	9
• Disponibilidad	9	9
• Cumplimiento	9	9
• Evaluación	9	9
• Conectividad	9	10
• Comprobación	9	10
• Manejabilidad	9	9
• Movilidad	9	9
• Configuración	9	10
Promedio	8,86	9,2

El siguiente gráfico muestra una comparación de los tipos de redes tomando en cuenta los indicadores de la variable independiente, aquí se ilustra los promedios de los valores tomados anteriormente.

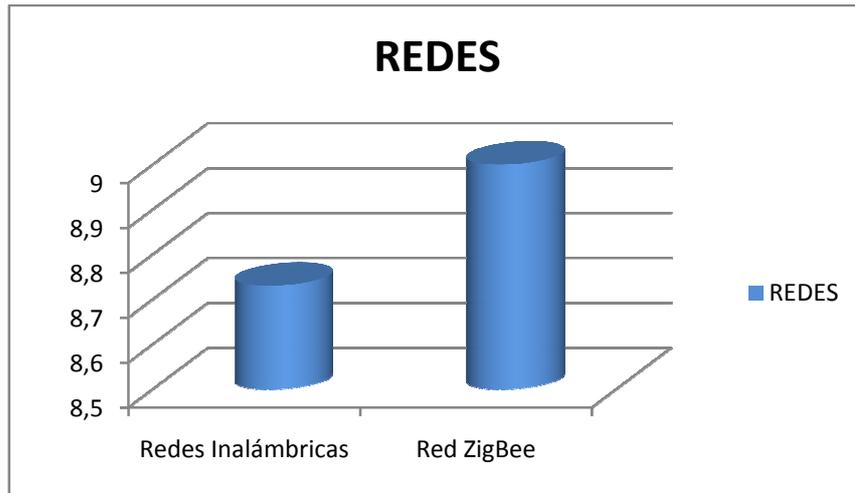


Figura IV - 105 Comparación de Redes

El siguiente gráfico muestra una comparación de la gestión (Control, monitoreo, configuración, etc.) entre las redes inalámbricas y la red ZigBee, tomando en cuenta los indicadores de la variable dependiente, aquí se ilustra los promedios de los valores tomados anteriormente.

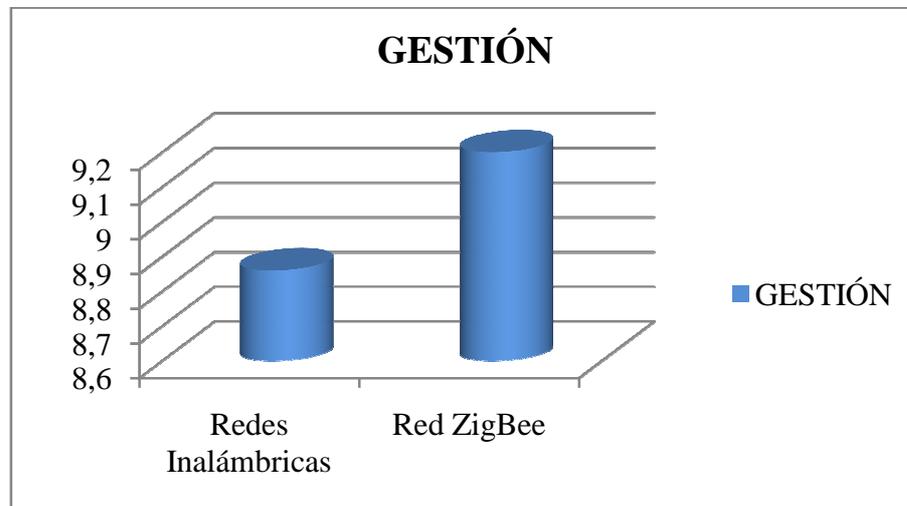


Figura IV - 106 Comparación de Gestión

Tabla IV - XI Cuadro Resumen General Comparación de redes y gestión

INDICADORES		Redes Inalámbricas		Red ZigBee	
X	Y	X	Y	X	Y
• Aplicaciones	• Control	8	8	6	8
• Amplias áreas de cobertura	• Monitoreo	9	9	10	9
• Tasa de transferencia	• Tiempo de respuesta	10	9	9	10
• Ahorro de energía	• Comunicación	8	9	9	9
• Simplicidad	• Alcance	9	9	9	9
• Seguridad	• Satisfacción	8	8	10	9
• Flexibilidad	• Fiabilidad	10	9	10	9
• Costos infraestructura	• Disponibilidad	9	9	8	9
• Movilidad	• Cumplimiento	9	9	9	9
• Desplazamiento	• Evaluación	8	9	9	9
• Escalabilidad	• Conectividad	9	9	10	10
• Garantía	• Comprobación	9	9	10	10
• Modulación de la señal	• Manejabilidad	9	9	8	9
• Soporta varios sistemas operativos	• Movilidad	8	9	8	9
• Forma de acceso al canal	• Configuración	8	9	10	10

Tabla IV - XII Cuadro de valores para el cálculo del coeficiente de Pearson

N	X	Y	XY	X ²	Y ²
1	8	8	64	64	64
2	9	9	81	81	81
3	10	9	90	100	81
4	8	9	72	64	81
5	9	9	81	81	81
6	8	8	64	64	64
7	10	9	90	100	81
8	9	9	81	81	81
9	9	9	81	81	81
10	8	9	72	64	81
11	9	9	81	81	81
12	9	9	81	81	81
13	9	9	81	81	81
14	8	9	72	64	81
15	8	9	72	64	81
16	6	8	48	36	64
17	10	9	90	100	81
18	9	10	90	81	100
19	9	9	81	81	81
20	9	9	81	81	81
21	10	9	90	100	81
22	10	9	90	100	81
23	8	9	72	64	81
24	9	9	81	81	81
25	9	9	81	81	81
26	10	10	100	100	100
27	10	10	100	100	100
28	8	9	72	64	81

29	8	9	72	64	81
30	10	10	100	100	100
▪	266	271	2411	2384	2455

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PEARSON

$$r_{xy} = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

$$r_{xy} = \frac{30(2411) - (266)(271)}{\sqrt{(30(2384) - (266)^2)(30(2455) - (271)^2)}}$$

$$r_{xy} = \frac{(72330) - (72086)}{\sqrt{((71520) - (70756))((73650) - (73441))}}$$

$$r_{xy} = \frac{244}{\sqrt{(764)(209)}}$$

$$r_{xy} = \frac{244}{\sqrt{159676}}$$

$$r_{xy} = \frac{244}{399,59}$$

$$r_{xy} = 0,610625 //$$

El coeficiente de correlación entre las variables X y Y, es significativo al 1 por mil por ser en valor absoluto a $r(25, 0.001) = 0,6$.



Figura IV - 107 Distribución normal del coeficiente de Pearson

Las áreas sombreadas representan la zona de rechazo y la parte en blanco, la zona de aceptación de la hipótesis nula. Se ubica el valor de la tabla 0,381

- **$H_0: |r_{xy}| < 0,381$**

$H_0: |0,610625| < 0,381$

$H_0: 0,610625 < 0,381$

H_0 : **No Satisface**

- **$H_1: |r_{xy}| \geq 0.381$**

$H_1: |0,610625| \geq 0.381$

$H_1: 0,610625 \geq 0.381$

H_1 : **Si Satisface**

Dado que $r_{xy} = 0,610625$ con un nivel de significación de 0.001 es mayor que 0,381, se rechaza la hipótesis nula H_0 . Por tanto se acepta la hipótesis H_1 comprobando que: “Mediante la implementación de una Red ZigBee para aplicaciones industriales se permitirá la gestión eficiente de los procesos industriales”.

CAPÍTULO V

APORTE INVESTIGATIVO

5.1 Introducción

Cuando se realiza un proyecto de investigación, el proceso seguido para la consecución del mismo debe ser publicado para posteriores implementaciones, es así que en el presente capítulo se presenta una guía de referencia para la implementación de una red ZigBee para aplicaciones industriales.

Cabe destacar que esta guía de referencia es inédita de los señores que desarrollaron el presente proyecto de investigación.

5.2 Guía de referencia para implementar una Red ZigBee Industrial

5.2.1 Introducción

Una red ZigBee para aplicaciones industriales, es el resultado de muchos años de investigación por parte de la compañía Alliance ZigBee, la red ZigBee industrial permitirá que todos sus procesos industriales este unidos en una red y que los mismos se pueda gestionar de una manera centralizada de forma inalámbrica, haciendo uso del protocolo de comunicación ZigBee del Estándar IEEE 802.15.4 de redes de área personal WPAN.

5.2.2 Descripción

Se corroboró la factibilidad de la implementación de una red ZigBee industrial para la gestión centralizada de sus procesos, la presente red industrial se conforma mediante dispositivos ZigBee fabricados por la empresa española 4-noks y comercializada por la empresa 2embedcom del mismo país, los dispositivos utilizados son:

- Un Gateway Modbus USB – ZigBee (**ZC-GW-USB-EM**)
- Un Bridge ZigBee – ModBus RS485 (**ZR-BR-485-EM**)
- Un ZigBee module with relay (**ZR-TIREL2-EM**)
- Un PLC TWDLMDA20DTK
- Módulo Estación de Distribución
- Módulo Control de Iluminación

El Gateway Modbus USB – ZigBee está conectado mediante un cable USB a la computadora, este dispositivo es el maestro debe existir uno por red, es el encargado de crear la red de dispositivos ZigBee y asignarlos direcciones IPs a los demás dispositivos, el Bridge ZigBee – ModBus RS485 está conectado al PLC TWDLMDA20DTK quien gestiona el proceso industrial (Estación de Distribución), finalmente el ZigBee module with relay gestiona el módulo Control de Iluminación.

Todos estos dispositivos ZigBee están conectados de una forma inalámbrica haciendo que se ahorre espacio y la no utilización de cables que viene hacer muy engorroso.

5.2.3 Importancia

El contar con una red ZigBee industrial para la gestión de sus procesos es de mucha importancia, ya que este posibilitara que usted pueda monitorear, gestionar y configurar sus procesos industriales de una forma centralizada, además que usted ahorrara espacio físico, cables y recurso económico.

5.2.4 Determinar elementos de la Red

Para crear una red ZigBee industrial se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Por cada red ZigBee debe existir un solo **Gateway Modbus USB – ZigBee** sea este:
 - Gateway Modbus USB – ZigBee (ZC-GW-USB-EM)
 - Gateway Modbus RS485 – ZigBee (ZC-GW-485-EM)
 - Gateway Modbus Ethernet – ZigBee (ZC-GW-ETH-EM/ZC-GW-ETH-EPM)

- Determinar los dispositivos ZigBee que van a conformar la red, estos dispositivos pueden ser:
 - **Repetidores**
 - Powered ZigBee Repeater (ZR-REP-E230M)
 - ZigBee Repeater (ZR-REP-EM)

 - **Bridges**
 - Bridge ZigBee – ModBus RS485 (ZR-BR-485-EM)

- **Routers**

- ZigBee module with relay (ZR-TIREL2-EM)
- ZigBee module with 2 NTC inputs, 2 digital inputs and Router (ZR-TID-EM)
- ZigBee S0 pulse counter with Router (ZR-TIDCI-EM)
- ZigBee remote control socket (ZR-RCS1-M)

- **Sensores/Actuadores**

- ZigBee sensor for temperature, humidity and light (ZED-THL-M)
 - ZigBee sensor for temperatura and humidity (ZED-THL-M)
 - ZigBee module with 2 NTC inputs and 2 digital inputs (ZED-TID-M)
 - ZigBee S0 pulse counter (ZED-TIDCI-M)
 - ZigBee module for alternate current measurements (ZED-3IAC-M)
 - ZigBee hall effect sensor for direct current measurements (ZED-ICC-M)
 - ZigBee remote control thermostat (ZED-TCM-M)
 - ZigBee remote control thermostat with relay output (ZED-TCMR-M)
- Determinar el número de dispositivos Modbus que van hacer conectados a través del Bridge ZigBee – ModBus RS485, teniendo en cuenta que solo pueden conectarse de 1 a 247 dispositivos, este dispositivo Modbus puede ser un PLC.
 - Determinar los Dispositivos adicionales que van hacer conectados a cada uno de los dispositivos ZigBee.

Para la ejecución de nuestro proyecto de investigación se eligió los siguientes dispositivos:

- **Dispositivos ZigBee**
 - Gateway Modbus USB – ZigBee (ZC-GW-USB-EM).
 - Bridge ZigBee – ModBus RS485 (ZR-BR-485-EM).
 - ZigBee module with relay (ZR-TIREL2-EM).

- **Dispositivos Modbus**
 - PLC TWDLMDA20DTK.

- **Dispositivos Adicionales**
 - Módulo Control de Iluminación.
 - Módulo Estación de Distribución

5.2.5 Descripción de elementos que conforman la Red

Todos estos dispositivos son construidos por la empresa 4-Noks y comercializada por 2Embedcom de España, por consiguiente todos los dispositivos ZigBee poseen una breve descripción de su configuración y funcionamiento.

A continuación se describe brevemente cada dispositivo ZigBee, Modbus y módulos utilizados en la construcción de la red.

5.2.5.1 Gateway Modbus USB – ZigBee (ZC-GW-USB-EM)



Figura V - 108 Gateway Modbus USB –ZigBee

El Gateway Modbus-USB es parte de la familia de dispositivos ZigBee de 4-noks. Su propósito es servir de interfaz entre un PC y la red de equipos inalámbricos ZigBee utilizando un protocolo universal como Modbus/RTU a través de un puerto USB.

El uso del protocolo Modbus garantiza un uso inmediato de muchos software SCADA comerciales para PC. El dispositivo se alimenta directamente del puerto USB; funcionando como coordinador de la red ZigBee. Es decir, es una parte activa en la creación de la red y manteniendo el tráfico inalámbrico desde y hacia otros dispositivos similares. Puede servir como punto de enlace para dispositivos alimentados por baterías y guardar los datos que envíen de manera asíncrona.

Al conectarlo con el bridge ZR-BR-485-EM, este Gateway ofrece un canal Modbus transparente.

5.2.5.1.1 Aplicación Típica

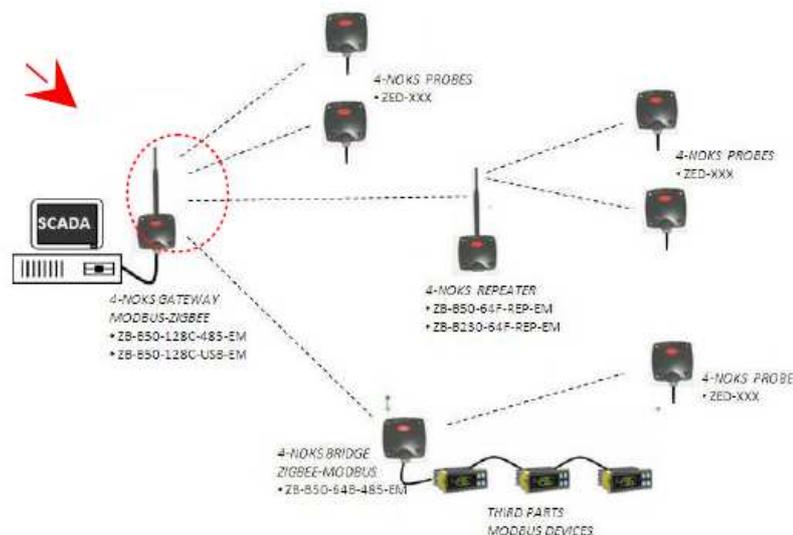


Figura V - 109 Aplicación típica del Gateway USB

5.2.5.1.2 Principales características

- Convertidor de protocolo Modbus/RTU a ZigBee
- Interfaz USB
- Coordinador de la red ZigBee
- Temporalmente guarda en su memoria local los datos enviados por los sensores
- Actúa como puente transparente para otros dispositivos Modbus
- Antena externa

- Alimentación directamente mediante el puerto USB

5.2.5.1.3 Especificaciones Técnicas

Tabla V - XIII Especificaciones Técnicas del Gateway USB

Características Generales	Chip Ember EM2420 Compatible con IEEE 802.15.4 Stack EmberZnet 3.5.X (ZigBee PRO) Modbus/RTU
Características RF	Frecuencia: 2405 MHz ÷ 2480 MHz Modulación: DSSS Potencia de transmisión nominal: 1mW (0 dBm) Sensibilidad de recepción: -92dBm Ganancia de antena externa: 5,5 dB Cobertura exterior / interior: 100m/30m
Alimentación	+5Vdc mediante USB; 100mA
Conexiones	USB 2.0
Parámetros ambientales	Temperatura de funcionamiento: -10 ÷ +60 ° C, <80% U.R. no condensado Temperatura de almacenamiento: -20 ÷ +70 ° C, <80% U.R. no condensado Grado de protección: IP 55 (1)
Certificados	ETSI EN 300 328: Compatibilidad de radio para las transmisiones digitales de banda ancha ETSI EN 301 489: Compatibilidad de radio EN 61000-6-2: Compatibilidad electromagnética - Emisiones EN 61000-6-3: Compatibilidad electromagnética - Inmunidad EN 60950-1: Seguridad Eléctrica

5.2.5.1.4 Dimensiones (mm)

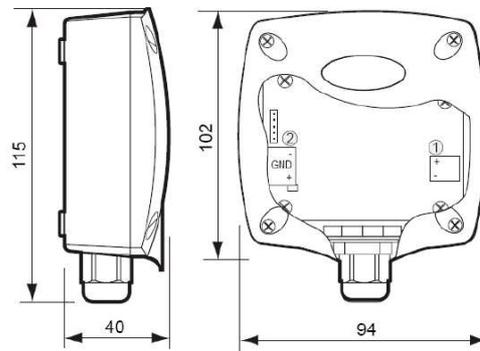


Figura V - 110 Dimensiones del Gateway USB

5.2.5.2 Bridge ZigBee – Modbus RS485 (ZR-BR-485-EM)



Figura V - 111 Bridge ZigBee – Modbus RS485

El ZB-485 tiene la función principal de conectar la red ZigBee formada por los dispositivos ZB-Connection con una red Modbus. Es básicamente un convertidor de protocolo, de ZigBee a Modbus.

De esta manera, el PLC-SCADA o PC conectado al Gateway puede comunicarse con dispositivos Modbus esclavos de manera inalámbrica. Este canal es completamente transparente. Además, puede actuar como repetidor y permitir la conexión de dispositivos alimentados por batería.

5.2.5.2.1 Características Principales

- Conectar dispositivos Modbus a la red ZigBee
- Utiliza interfaz RS485 y protocolo Modbus/RTU
- Capacidades de enrutamiento
- 1 mW de potencia de RF
- Antena externa

5.2.5.2.2 Aplicación Típica

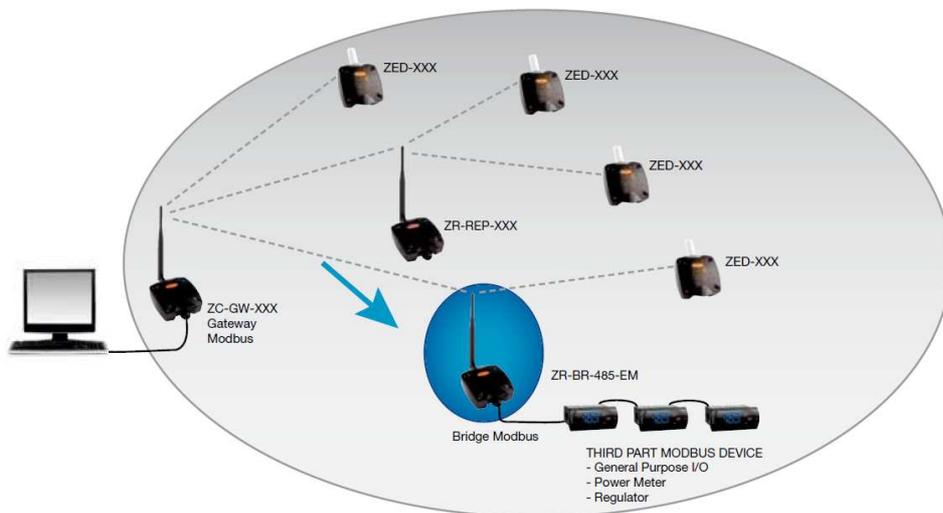


Figura V - 112 Aplicación Típica del Bridge ZigBee – Modbus RS485

5.2.5.2.3 Especificaciones Técnicas

Tabla V - XIV Especificaciones Técnicas del Bridge ZigBee

Características Generales	Chip Ember EM2420 Compatible con IEEE 802.15.4 Stack EmberZnet 3.5.X (ZigBee PRO) Modbus/RTU
Características RF	Frecuencia: 2405 MHz ÷ 2480 MHz Modulación: DSSS

	<p>Potencia de transmisión nominal: 1mW (0 dBm)</p> <p>Sensibilidad de recepción:-92dBm</p> <p>Ganancia de antena externa: 5,5 dB</p> <p>Cobertura exterior / interior: 100m/30m</p>
Alimentación	12-24 Vcc/Vca ($\pm 10\%$); 100mA; 50/60Hz
Conexiones	<p>Alimentación: pull-out terminals (3,81 mm)</p> <p>Interfaz RS-485: extraction clamps (3,81 mm)</p>
Parámetros ambientales	<p>Temperatura de funcionamiento: $-10 \div +60$ ° C, <80% U.R. no condensado</p> <p>Temperatura de almacenamiento: $-20 \div +70$ ° C, <80% U.R. no condensado</p> <p>Grado de protección: IP 55</p>
Certificados	<p>ETSI EN 300 328: Compatibilidad de radio para las transmisiones digitales de banda ancha</p> <p>ETSI EN 301 489: Compatibilidad de radio</p> <p>EN 61000-6-2: Compatibilidad electromagnética - Emisiones</p> <p>EN 61000-6-3: Compatibilidad electromagnética - Inmunidad</p> <p>EN 60950-1: Seguridad Eléctrica</p>

5.2.5.2.4 Dimensiones (mm)

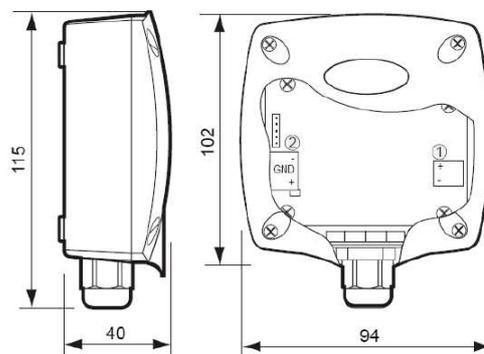


Figura V - 113 Dimensiones del Bridge ZigBee

5.2.5.3 ZigBee Module with relay (ZR-TIREL2-EM)



Figura V - 114 ZigBee Module With Relay

El módulo ZigBee Module with relay está provisto de una entrada para resistencia térmica, dos entradas digitales y dos salidas de relé. Puede realizar la función de termostato programable en modo frío/calor con salidas de relé y gestiona alarmas en función de los umbrales de temperatura pre configurados.

Además, envía los datos a intervalos regulares a un Gateway perteneciente a la familia de productos 4-noks. La funcionalidad del termostato se puede desactivar, en este caso, las entradas y salidas se gestionan directamente desde el PLC o SCADA conectado al gateway. El dispositivo se alimenta a 24Vdc/24Vac continuamente, por lo que también puede actuar como un repetidor.

5.2.5.3.1 Características Principales

- 2 salidas de relé 250V/5A
- 2 entradas digitales
- 1 entrada de resistencia térmica (resistencia NTC no incluida)
- Funcionalidad de termostato programable
- Funcionalidad FFD con capacidades de enrutamiento
- Alimentación 24Vdc/Vac
- Antena externa

5.2.5.3.2 Aplicación Típica

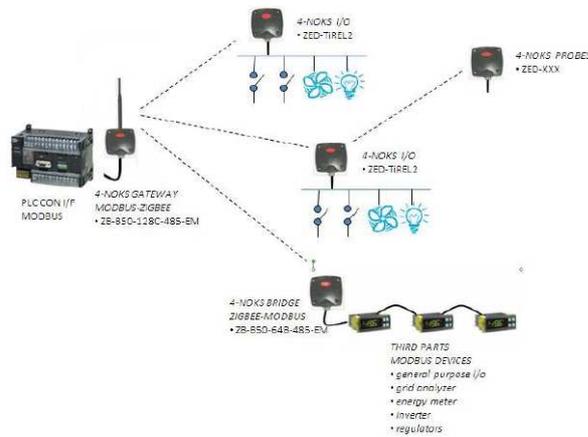


Figura V - 115 Aplicación típica del ZigBee Module With Relay

5.2.5.3.3 Especificaciones Técnicas

Tabla V - XV Especificaciones Técnicas del ZigBee Module With Relay

Características Generales	<p>Chip Ember EM2420</p> <p>Compatible con IEEE 802.15.4</p> <p>Stack EmberZnet 3.5.X (ZigBee PRO)</p> <p>Modbus/RTU</p> <p>Dirección del dispositivo configurable a través de dip-switch interno</p> <p>Montaje en pared con tornillos</p>
Características RF	<p>Frecuencia: 2405 MHz ÷ 2480 MHz</p> <p>Modulación: DSSS</p> <p>Transmisión de potencia nominal: 1mW (0 dBm)</p> <p>Sensibilidad de recepción:-92dBm</p> <p>Ganancia de antena externa: 5,5 dB</p> <p>Cobertura exterior / interior: 100m/30m</p>
Alimentación	<p>24Vcc/Vca ($\pm 10\%$); 100mA; 50/60Hz</p>
Entrada NTC	<p>Sensor NTC</p> <p>Tipo 103AT (R25 = 10 kOhm; beta = 3435K)</p> <p>Rango: -50 ° C ÷ 110 ° C</p>

	Resolución: 0,1 ° C Precisión: ± 1,0 ° C Medidas representadas en décimas de grado.
Entradas Digitales	Salidas del tipo eléctrico no aisladas para la limpieza de contactos Corriente de cortocircuito 0,01 mA. Uso de auto-limpieza de contactos.
Relé	Bobina de 24Vdc Contactos de 250V/5 ^a
Conexiones	Terminales de salida (3,81 mm)
Parámetros Ambientales	Temperatura de funcionamiento: -10 ÷ +60 ° C, <80% U.R. no condensado Temperatura de almacenamiento: -20 ÷ +70 ° C, <80% U.R. no condensado Grado de protección: IP 55
Certificados	ETSI EN 300 328: Compatibilidad de radio para las transmisiones digitales de banda ancha ETSI EN 301 489: Compatibilidad de radio EN 61000-6-2: Compatibilidad electromagnética - Emisiones EN 61000-6-3: Compatibilidad electromagnética - Inmunidad EN 60950-1: Seguridad Eléctrica

5.2.5.3.4 Dimensiones (mm)

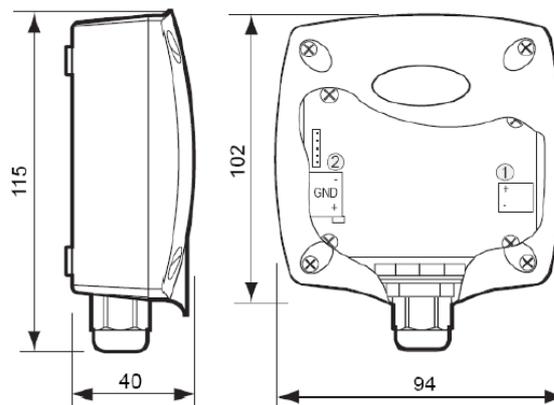


Figura V - 116 Dimensiones del ZigBee Module With Relay

5.2.5.4 PLC TWDLMDA20DTK

5.2.5.4.1 Definición

Un PLC (Controlador Lógico Programable) en si es una máquina eléctrica la cual es capaz de controlar maquinas e incluso procesos a través de entradas y salidas. Las entradas y las salidas pueden ser tanto analógicas como digitales.

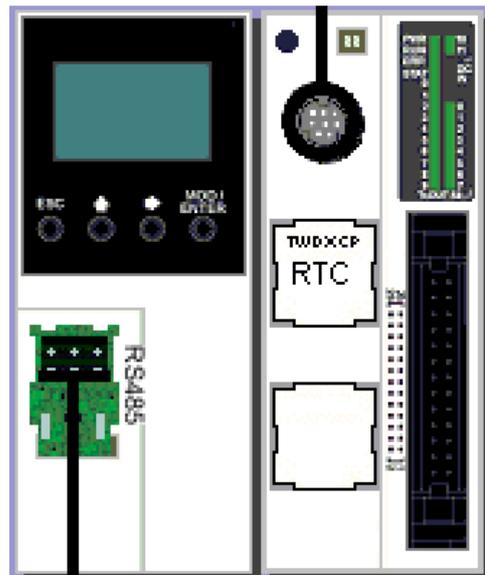


Figura V - 117 PLC TWDLMDA20DTK

5.2.5.4.2 Campo de aplicación

Un autómata programable suele emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de las siguientes necesidades:

Espacio reducido

Procesos de producción periódicamente cambiantes.

Procesos secuenciales.

Máquinas de procesos variables

Instalaciones de procesos complejos y amplios

Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

Aplicaciones Generales

- Maniobra de máquinas

- Maniobra de instalaciones
- Señalización y control

Tal y como se mencionó con anterioridad, esto se refiere a los autómatas programables industriales, dejando de lado los pequeños autómatas para uso más personal (que se puede emplear, incluso, para automatizar procesos en el hogar, como la puerta de un garaje o las luces de la casa)

5.2.5.5 Módulo Estación de Distribución

Función

La estación de Distribución separa piezas. Hay hasta ocho piezas en el tubo del almacén de apilado. Un cilindro de doble efecto expulsa las piezas individualmente. El módulo Cambiador sujeta la pieza separada por medio de una ventosa. El brazo del cambiador, que es accionado por un actuador giratorio, transporta la pieza al punto de transferencia de la estación posterior.

Tecnología especial: Actuador semi-giratorio

La estación de Distribución utiliza varios actuadores, todos ellos son componentes industriales. El actuador giratorio del brazo basculante puede ajustarse a diversos ángulos entre 0° y 180°. Las posiciones finales son detectadas por medio de microinterruptores. Un cilindro lineal de doble efecto empuja la pieza extrayéndola del almacén de apilado. Las posiciones finales son detectadas utilizando sensores de proximidad



Figura V - 118 Estación de Distribución

Pinzas especiales: Pinza de aspiración

La pinza de aspiración del módulo Cambiador sujeta la pieza. El vacío es generado en la placa de vacío del terminal de válvulas CP por medio del principio Venturi y es supervisada por un presostato. El punto de conmutación del presostato es ajustable.

Datos técnicos

- Presión de funcionamiento 600 kPa (6 bar)
- Alimentación de tensión 24 V DC
- 7 entradas digitales
- 5 salidas digitales

Objetivos didácticos para el trabajo de proyecto

Mecánica:

- Ajuste mecánico de una estación

Neumática:

- Instalación de tubos para componentes neumáticos
- Tecnología del vacío
- Accionamientos neumáticos lineales y giratorios

Electricidad:

- Correcto cableado de componentes eléctricos

Sensores:

- Uso correcto de finales de carrera

PLC:

- Programación y aplicación de un PLC
- Estructura de un programa de PLC
- Sección de programa y de modo de funcionamiento
- Secuencia de REPOSICIÓN ordenada
- Programación de un PARO DE EMERGENCIA

Los componentes más importantes en conjunto

- Abrazaderas de cable (Nº de artículo 196965)
- Accesorios (tubos, bridas de cable, terminales) (Nº de artículo 526209)
- Módulo almacén apilador (Nº de artículo 162385)
- Módulo cambiador (Nº de artículo 162387)
- Placa perfilada de aluminio
- Receptor del enlace de la estación (Nº de artículo 196964)
- Sensor de barrera
- Sistema de montaje para equipamiento eléctrico (Nº de artículo 196958)
- Terminales de válvulas CP
- Uniones de placas perfiladas (Nº de artículo 162228)
- Vacuostato (Nº de artículo 196973)
- Válvula de cierre con filtro regulador (Nº de artículo 152894)

5.2.5.6 Módulo Control de Iluminación

El módulo control de iluminación está compuesto de tres indicadores luminosos (Rojo, Amarillo y Verde) y de una alarma.

Tanto los indicadores luminosos como la alarma se pueden conectar a relés para su funcionamiento.

Los indicadores luminosos están conectados al relé1 y la alarma se conecta al relé2 del dispositivo.

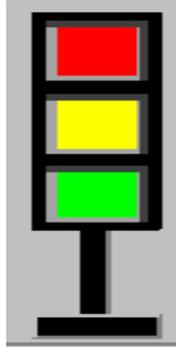


Figura V - 119 Indicador luminoso

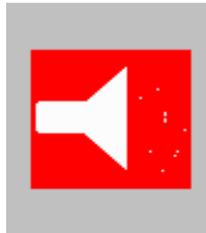


Figura V - 120 Alarma

5.2.6 Seleccionar la topología de red a utilizar

Las especificaciones del estándar IEEE 802.15.4 permiten realizar tres diferentes topologías de red que pueden ser implementadas dependiendo de la aplicación, y éstas son:

- Topología en estrella
- Topología cluster tree
- Topología mesh

Para implementar la red ZigBee para aplicaciones industriales en el laboratorio de Automatización Industrial de la EIS de la ESPOCH, se optó por utilizar la topología en Estrella.

En una topología en estrella se tiene un único nodo trabajando como coordinador PAN, como se muestra en la Figura VI - 135. Por lo tanto si un FFD está activado puede establecer su propia red y llegar a ser coordinador PAN, eligiendo un identificador de red. La comunicación en esta topología es centralizada, cada dispositivo (FFD o RFD) se unen a la red y si desea comunicarse con otros dispositivos debe enviar su información al coordinador PAN, el cual enviará esta información al dispositivo correspondiente.

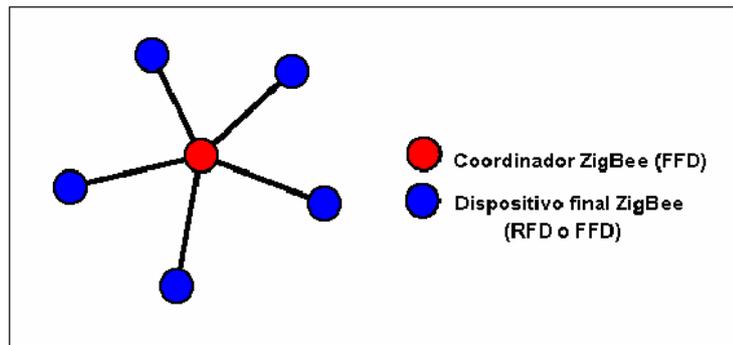


Figura V - 121 Topología en Estrella

5.2.7 Configuración de la Red

Características generales

La familia de dispositivos ZB-Connection componen una red de sensores y actuadores. Estos sensores y actuadores son capaces de transmitir sus datos de funcionamiento (estados de entradas y salidas digitales, parámetros, etc) a un dispositivo concentrador (Gateway, o puerta de enlace) de manera inalámbrica.

Se establece una comunicación bidireccional entre los dispositivos y el Gateway; por lo que, además de transmitir su estado de funcionamiento, los dispositivos pueden recibir datos y comandos. Es posible acceder a los datos recogidos por el Gateway a través de comunicaciones serie como USB/485 y el protocolo Modbus-RTU, o por medio de un puerto Ethernet y el protocolo Modbus-TCP/IP.

El Gateway es transparente a efectos de comunicaciones serie. Ya se trate de un PLC o un PC con software de supervisión, el cliente conectado al Gateway puede acceder a todos los datos de cada sensor tanto en modo lectura como escritura, de manera individual, como si estuviesen conectados a través de un cable.

Los sensores/actuadores se dividen en dos familias; los sensores/actuadores con batería llamados nodos finales y, los sensores/actuadores alimentados por una fuente estable y externa, llamados Routers. Los dispositivos de radio en estas dos familias son diferentes. De hecho, los Routers son también responsables de mantener la infraestructura de red de radio y ampliar la capacidad del Gateway.

Creando una red de dispositivos

La creación de una nueva red de dispositivos ZB-Connection consta de las siguientes fases:

- Asignar la dirección al Gateway
- Conectar el Gateway a un sistema de control/supervisión y ponerlo en marcha.
- Crear la red por parte del Gateway
- Apertura de la red por parte de la puerta de enlace
- Asignar direcciones de red a los nuevos sensores/actuadores
- Poner en marcha los sensores/actuadores
- Añadir los nuevos dispositivos a la red
- Cerrar la red desde el Gateway.

Los puntos 5, 6, 7 deben repetirse para todos los dispositivos que deseen añadirse a la red. Si se va a añadir un nuevo dispositivo a una red ya creada, deben ejecutarse los puntos 4, 5, 6, 7, 8.

Direccionamiento de dispositivos

Una condición esencial de todos los dispositivos ZB-Connection es que cada uno de ellos debe tener su propia dirección inequívoca. Cada dispositivo, excepto los dispositivos repetidores y Router-Bridge, disponen de un dip-switch que debe ser ajustado a la dirección asignada a la unidad. La dirección debe asignarse antes de añadir el dispositivo a la red.

Direccionamiento del Gateway (excepto la versión Ethernet)

La dirección del Gateway permite a los clientes conectados acceder a los datos de funcionamiento del propio Gateway y ajustar y gestionar los parámetros de la red inalámbrica. Las direcciones válidas para el Gateway son aquellas en el rango 1..7. Cada uno de estos dispositivos dispone de un dip-switch de 4 interruptores que utiliza una lógica binaria: el interruptor "1" corresponde al bit de menor peso; la posición "ON" corresponde al valor binario "1".

Ejemplo:

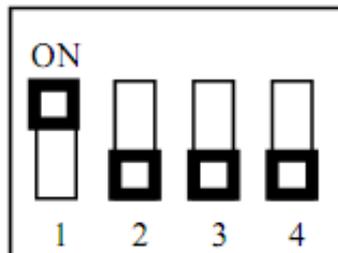


Figura V - 122 Direccionamiento del Gateway

Dirección = 1

El dip-switch sólo se lee cuando el dispositivo se pone en marcha; por lo que una modificación de alguna de sus posiciones sólo se tiene en cuenta después de que el dispositivo se reinicie. La posición 4 no se usa para asignar la dirección del dispositivo, su función es la de establecer la velocidad del puerto serie, la posición **OFF** corresponde a 9600 Bps y la posición **ON** corresponde a 19200 Bps.

Para determinar la dirección del dispositivo se procede de la siguiente manera:

$2^0 + 2^1 + 2^2 = 7$ es la máxima dirección para el Gateway, teniendo en consideración que las tres posiciones del dip-switch estén en ON.

Direccionamiento de los sensores/actuadores

Las direcciones válidas para los dispositivos sensores/actuadores son aquellas en el rango 16..127. Cada uno de estos dispositivos dispone de un dip-switch de 8 posiciones que utiliza una lógica binaria: el interruptor “1” corresponde al bit de menor peso; la posición “ON” corresponde al valor binario “1”.

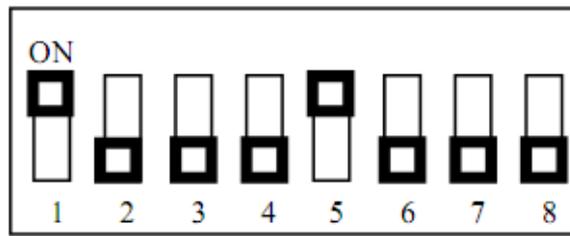


Figura V - 123 Direccionamiento de sensores/actuadores

Dirección = 17

$2^0 + 2^4 = 17$, por que la posición uno y cinco del dip-switch están en ON.

El dip-switch sólo se lee cuando el dispositivo se pone en marcha; por lo que una modificación de alguna de sus posiciones sólo se tiene en cuenta después de que el dispositivo se reinicie. Para resetear el dispositivo, quita la batería del dispositivo, presiona el botón para liberar la energía residual y vuelve a insertar la batería.

Atención: ten cuidado al asignar las direcciones. Dos dispositivos con la misma dirección volcarían sus datos en el mismo contenedor del Gateway y esto podría generar una ambigüedad difícil de identificar en las siguientes operaciones de la red.

Creando la red

La creación de la red sólo puede realizarla el Gateway. El Gateway es el encargado de crear la red inalámbrica a la que todos los dispositivos serán asociados posteriormente. La red sólo se puede crear si el Gateway todavía no es parte de una red.

La creación de la red se lleva a cabo pulsando el botón del Gateway o a través del protocolo Modbus para enviar al Gateway comandos especiales. Después de haber creado la red, el Gateway guarda los parámetros de la red en su memoria no volátil de modo que la red seguirá funcionando sin problemas aunque el Gateway se apague y se vuelve a poner en marcha de nuevo.

Abrir y cerrar la red

El término “red abierta” indica una red a la que se pueden añadir nuevos dispositivos. El término “red cerrada” indica una red que no puede aceptar nuevos dispositivos.

La red formada por los dispositivos ZB-Connection es normalmente una red cerrada. La red sólo se puede abrir a través del Gateway. Las operaciones de apertura y cierre de la red se llevan a cabo pulsando el botón del Gateway o enviando el comando apropiado al Gateway a través del protocolo Modbus.

Interfaces Led y botón del Gateway (versiones USB /RS485)

El Gateway tiene tres LEDs a través de los cuales se puede obtener información sobre el funcionamiento del dispositivo. Además, también dispone de un botón que permite enviar comandos a la unidad.

Nomenclatura de los LEDs:

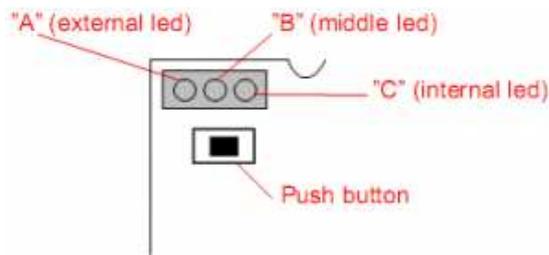


Figura V - 124 Leds de Dispositivos ZigBee

Comportamiento de los LEDs al arrancar

Cuando el Gateway se pone en marcha los LEDs se iluminarán durante 2 segundos y luego parpadearán rápidamente durante otros 2 segundos. Después de que parpadeen, el dispositivo iniciará su funcionamiento normal.

Funcionamiento de los LEDs cuando el Gateway NO forma parte de ninguna red

LED "A" iluminado permanentemente, LEDs "B" y "C" apagados.

Funcionamiento de los LEDs cuando el Gateway forma parte de una red

LED "A": Estado de funcionamiento

- parpadeo lento (1Hz) ==> red cerrada
- parpadeo rápido (4Hz) ==> red abierta

LED "B": Enlace de radio

- Apagado ==> Ningún Router con buen enlace en las proximidades
- 1 parpadeo ==> Un Router con buen enlace en las proximidades
- 2 parpadeos ==> Dos Routers con buen enlace en las proximidades
- 3 parpadeos ==> Cuatro o más Routers con buen enlace en las proximidades

LED “C”: Actividad de radio

- Normalmente apagado
- Iluminación breve al transmitir o recibir un mensaje

Creando la red

Cuando el dispositivo no forma parte de ninguna red, al pulsar el botón el LED “B” se encenderá. Si no se vuelve a presionar el botón en 10 segundos, el proceso de escaneo empieza para buscar el mejor canal inalámbrico. Este escaneo dura unos 20 segundos durante los cuales sólo el LED “B” estará encendido. Una vez completado el proceso de escaneo, el Gateway ya habrá creado la red y el LED “B” empezará a parpadear.

Abriendo la red

Cuando el Gateway forma parte de una red, al pulsar el botón de la placa se abre la red (en este caso el LED “A” parpadea).

Cerrando la red

Cuando la red está abierta, se puede cerrar de nuevo pulsando el botón de la placa. Si se deja abierta, se cerrará automáticamente 15 minutos después de haberla abierto.

Añadir nuevos dispositivos a la red

Se pueden añadir nuevos dispositivos a la red sólo cuando ésta está abierta. Una vez finalizado el proceso de asociación, el dispositivo guarda los parámetros de la red en su memoria no volátil, por lo que si se apaga el dispositivo volverá a funcionar correctamente al volver a ponerse en marcha de nuevo, manteniendo la asociación con la red correspondiente.

El proceso de asociación de un dispositivo a la red difiere dependiendo del tipo de sensor/actuador en cuestión.

Asociación de nodos finales

Para ser añadidos a la red, los nodos finales deben ser estimulados pulsando el botón situado en la placa. El proceso de asociación suele durar unos 20 segundos. Una vez completado, si el dispositivo no pudo encontrar una red disponible, regresa al modo de ahorro de energía a la espera de que el botón sea pulsado de nuevo.

Asociación de Reuters

Para ser añadidos a la red, los dispositivos de tipo Router no requieren de ningún tipo de estimulación. Si están encendidos y no forman parte de ninguna red, automáticamente empiezan a buscar una red disponible. Este proceso de escaneo se realiza de manera indefinida hasta que el Router encuentre una red abierta.

Eliminar dispositivos de la red

Todos los dispositivos, incluido el Gateway, pueden llevar a cabo la operación necesaria para desconectarlos de la red y restaurar su configuración por defecto (dispositivo no asociado). Para realizar esta operación, presiona el botón de la placa en los 20 segundos posteriores a la puesta en marcha del dispositivo y manteniéndolo pulsado durante más de 10 segundos.

Un dispositivo desconectado puede ser reinsertado en la red previa repitiendo el proceso de asociación. Esto no es aplicable al Gateway; si se desconecta, al volver a crear la red resultaría en una nueva red diferente de la anterior. En este caso sería imposible contactar con ninguno de los dispositivos presentes en la primera red.

Obtener datos de los sensores/actuadores

Todos los sensores/actuadores de una red ZB-Connection envían mensajes de radio al Gateway incluyendo una descripción completa de su estado. Estos mensajes se envían a intervalos regulares y programables. En respuesta a este mensaje, el Gateway envía un

mensaje indicando las acciones a realizar o cualquier modificación que se deba realizar de sus parámetros.

Acceder a los datos en modo lectura

El Gateway almacena en su memoria local los datos transmitidos por los sensores/actuadores. Puede accederse a esta información de la memoria en cualquier momento a través del protocolo Modbus.

Cuando el usuario accede a los datos de un dispositivo específico, esos datos no se corresponden al instante en que se ha ejecutado el comando de lectura sino que son los datos correspondientes al último mensaje recibido del dispositivo.

Acceder a los datos en modo escritura

Una modificación de los parámetros de un sensor/actuador se escribe inicialmente en la memoria del Gateway. En el caso de los dispositivos de tipo nodo final, el Gateway envía el mensaje que incluye el nuevo parámetro sólo después de haber recibido un mensaje del propio sensor/actuador.

Por otro lado, en el caso de sensores/actuadores con función de Router, el Gateway envía el mensaje que contiene el nuevo parámetro inmediatamente.

Identificar los datos de los dispositivos

Cada componente de la familia de dispositivos ZB-Connection dispone de una tabla de registros específica. Para una descripción completa de cómo identificar los datos obtenidos por los dispositivos, consulte el manual de cada unidad.

Nociones básicas sobre el protocolo Modbus

Los datos guardados en el Gateway pueden ser leídos y modificados utilizando el protocolo ModBus-RTU si es un Gateway USB/RS485 o a través de ModBus-TCP/IP si es un Gateway Ethernet.

En el caso de Modbus-RTU, el esquema de comunicación es el siguiente:

Tabla V - XVI Esquema de Comunicación Modbus-RTU

START	ADDRESS	FUNCTION	DATA	CRC	END
delay of 4 bytes	1 byte	1 byte	n bytes	2 bytes	4 byte delay

El CRC es de 16-bits y se calcula, de acuerdo al estándar Modbus, con el polinomio $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$.

El Gateway implementa las siguientes funciones:

- 01 – READ COIL STATUS
- 02 – READ INPUT STATUS
- 03 – READ HOLDING REGISTER
- 04 – READ INPUT REGISTER
- 05 – FORCE SINGLE COIL
- 06 – PRESET SINGLE REGISTER

Nociones básicas sobre la red inalámbrica

Desde el punto de vista de radio, los dispositivos ZB-Connection componen una red construida sobre el estándar ZigBee del cual hereda su estructura y propiedades. Es una red de tipo propietario. Por esta razón, los dispositivos de la red no pueden interoperar con otros equipos ZigBee producidos por otros fabricantes.

Desde el punto de vista del enlace de radio, la red se compone de tres tipos diferentes de nodos:

- (C) Nodos coordinadores (Gateway)
- (R) Sensores/actuadores con función de router (repetidores)
- (E) Sensores/actuadores que actúan como nodos finales

Una red creada correctamente se compone de un único nodo (C) y un número variable de nodos (R) y (E). El nodo (C) como coordinador tiene la tarea fundamental de crear la red. Los nodos (R) como routers son los constituyentes básicos de la red; teniendo un papel activo en el mantenimiento y redirigiendo el tráfico de radio desde y hacia otros dispositivos de la red.

La prerrogativa de los nodos (C) y (R) es que están siempre en marcha y no tienen limitaciones en cuanto a su consumo eléctrico. Por esta razón, estos tipos de nodos suelen estar alimentados por una fuente externa. Los nodos finales (E) no participan activamente en la gestión de la red; sólo se comunican de manera inalámbrica con los otros dispositivos de la red cuando necesitan entregar un mensaje (y posiblemente recibir una respuesta al mensaje).

Por esta razón, los nodos de tipo (E) requieren menos potencia y por tanto pueden ser alimentados por batería permitiendo una autonomía razonable. Para poder comunicarse, los nodos (E) deben establecer un enlace inequívoco, llamado relación, con un nodo (C) o (R). Por tanto, los nodos (E) deben instalarse cerca de como mínimo un nodo (C) o (R).

Ejemplo de la topología de una red ZigBee:

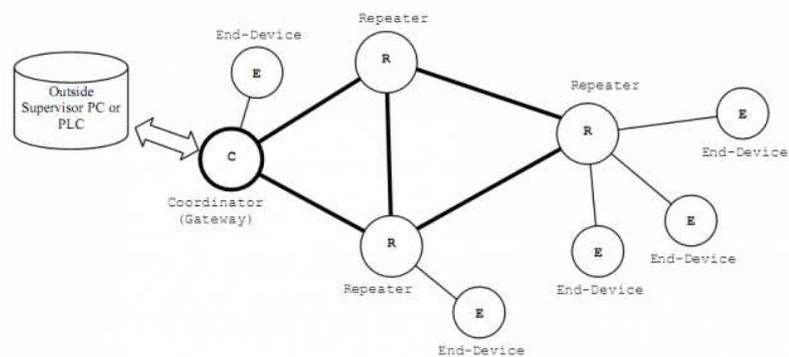


Figura V - 125 Topología de una red ZigBee

Limitaciones en el número de dispositivos

En su mínima expresión, una red ZB-Connection se compone de un Gateway y un router o nodo final. Para determinar la extensión máxima de la red, estos es, el número máximo de nodos que pueden usarse en la red, deben tenerse en cuenta varios factores.

Capacidad de direccionamiento del dispositivo: limitaciones internas del Gateway hacen que el número máximo de dispositivos que pueden ser gestionados sea de 112 (con direcciones en el rango 16..127).

Número máximo de nodos finales: el número máximo de nodos finales que pueden, en un momento dado, 'colgar' de un Router (o Gateway) concreto es 32. Cuestiones prácticas de seguridad y redundancia recomiendan tener como mínimo dos posibles routers como 'padres' de cada nodo final instalado, lo que implica utilizar como mínimo un Router cada 16 nodos finales.

Razones prácticas recomiendan no exceder nunca el límite de 60 Routers.

Notas sobre la capacidad de radio de los dispositivos

La capacidad de radio de los dispositivos es de unos cien metros en exteriores, es decir, sin obstáculos que dificulten el paso de la señal inalámbrica.

En interiores, la capacidad se reduce significativamente y puede variar dependiendo de cada caso específico. A menudo, las paredes divisorias y pisos reforzados pueden llegar a ser obstáculos insuperables. No siempre es posible determinar la mejor posición de los dispositivos, en particular la de los Routers, según la teoría; sino que debe ser determinada empíricamente por prueba y error durante la instalación real.

El analizador portátil Z-HANDZER es una buena herramienta para llevar a cabo este proceso de instalación y encontrar la mejor ubicación para instalar los dispositivos.

Notas sobre la conexión de la red

Existen algunas normas prácticas para la correcta construcción e instalación de una red de dispositivos ZB-Connection:

Siempre que sea posible, instala el Gateway en una posición central respecto al resto de nodos.

El Gateway debe ser capaz de comunicarse con al menos 2 Routers.

Cada Router debe ser capaz de comunicarse con al menos 2 Routers.

Cada Router no deber ser capaz de comunicarse con más de 16 Routers.

El número de Routers debe calcularse según el número de nodos finales. Calcula como mínimo un Router cada 16 nodos.

Cada nodo final debe ser capaz de comunicarse con al menos 2 Routers.

Siempre que sea posible, instala todos los dispositivos a alturas elevadas y lejos de masas metálicas.

Siempre que sea posible, instala los dispositivos con visión entre ellos.

Limita el tráfico de radio tanto como sea posible: la experiencia nos ha enseñado que lo mejor es no superar un número máximo total de mensajes cada 3 segundos. Este límite se convierte así en el valor mínimo para el parámetro de frecuencia de transmisión de cada nodo y esto, a su vez, depende del número de nodos en la red. Si “n” indica el número de la red, se recomienda que, para cada nodo, el tiempo de transmisión automática se debe establecer mayor o igual que “3·n” segundos.

5.2.8 Configuración de dispositivos

Para un correcto funcionamiento de la red ZigBee Industrial se debe configurar ciertos parámetros en los distintos dispositivos que conforman la red, a continuación se describe los dispositivos configurados:

Gateway Modbus USB – ZigBee (ZC-GW-USB-EM)

En este dispositivo se configura el modo de trabajo para la comunicación con los dispositivos Modbus conectados a través del Router Bridge ZigBee, los parámetros de comunicación serial.

Para la configuración del modo de trabajo del Coordinador ZigBee se utiliza un software denominado QModbus el mismo que permite modificar los registros del Coordinador ZigBee.

Para el modo de trabajo en HoldingRegister[3] del Coordinador ZigBee cambiar el valor del bit #2, cuando este bit esta en 1 no permite la comunicación con los dispositivos Modbus conectados a través del Router Bridge ZigBee, poner este bit el valor cero de esta forma se habilita la comunicación desde y hacia los dispositivos Modbus.

Por defecto el HoldingRegister[3] del coordinador viene con el valor 21, este valor en binario es 10101, pero como el bit#2 debe estar en cero entonces se debe asignar el valor 17 que en binario es equivalente a 10001.

Para establecer los parámetros de comunicación serial se procede por medio del Dip-Switch que posee dicho dispositivo, poner el DIP4 = ON, esto quiere decir que se tiene:

Velocidad: 19200 Bps

Bit de Datos: 8

Paridad: None

Bit de parada: 2

Flujo de Control: None

Por defecto el DIP4 del coordinador ZigBee viene en off:

Velocidad: 9600 Bps

Bit de Datos: 8

Paridad: None

Bit de parada: 2

Flujo de Control: None

Bridge ZigBee – ModBus RS485 (ZR-BR-485-EM)

En este dispositivo únicamente se tiene que configurar los parámetros de comunicación serial para los dispositivos Modbus conectados a él.

Para esta configuración se procede mediante el Dip-Switch que posee dicho dispositivo de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla V - XVII Parámetros Configuración del Bridge ZigBee – Modbus RS485

DIP1 (baudrate)	DIP2	DIP3	DIP4 (stopbit)		Velocità	Parità	stopBit
OFF	OFF	OFF	OFF		9600	nessuna	2
ON	OFF	OFF	OFF		19200	nessuna	2
OFF	ON	OFF	OFF		9600	even - pari	2
ON	ON	OFF	OFF		19200	even - pari	2
OFF	OFF	ON	OFF		9600	nessuna	2
ON	OFF	ON	OFF		19200	nessuna	2
OFF	ON	ON	OFF		9600	odd - dispari	2
ON	ON	ON	OFF		19200	odd - dispari	2
OFF	OFF	OFF	ON		9600	nessuna	1
ON	OFF	OFF	ON		19200	nessuna	1
OFF	ON	OFF	ON		9600	even - pari	1
ON	ON	OFF	ON		19200	even - pari	1
OFF	OFF	ON	ON		9600	nessuna	1
ON	OFF	ON	ON		19200	nessuna	1
OFF	ON	ON	ON		9600	odd - dispari	1
ON	ON	ON	ON		19200	odd - dispari	1

Para el proyecto se configuro el DIP1=ON, DIP2=OFF, DIP3=OFF y DIP4=ON, teniendo como resultado:

Velocidad =19200 bps

Paridad = ninguna

Bit de Parada = 1

ZigBee module with relay (ZR-TIREL2-EM)

Para la consecución de nuestro proyecto de investigación, este dispositivo no se configura nada extra.

PLC TWDLMDA20DTK

Para la configuración del puerto 2 de comunicación (TWDNAC485T de tres hilos) se utilizó el software TwidoSoftv3.5, mediante el cual se estableció los siguientes parámetros de comunicación serial:

Protocolo: Modbus

Dirección: 6

Velocidad en Baudios: 19200

Bit de datos: 8 (RTU)

Paridad: Ninguna

Bit de parada: 1

5.2.9 Conexión del PLC y Control de Iluminación a dispositivos ZigBee

Conexión Bridge ZigBee – Modbus RS485 a la interfaz TWDNAC485T del PLC TWDLMDA20DTK

La conexión del Bridge ZigBee – Modbus RS485a la interfaz de comunicación TWDNAC485T del PLC TWDLMDA20DTK se procede de la siguiente manera:

Tabla V - XVIII Conexión RS485 Bridge ZigBee al TWDNAC485T del PLC

Interfaz RS485 del Bridge ZigBee – Modbus RS485	Interfaz de comunicación TWDNAC485T del PLC
RX/T+	(+)A
TX/T-	(-)B
GND	SG

Conexión ZigBee Module with relay al Módulo Control de Iluminación

En la red ZigBee Industrial los indicadores luminosos están conectados al relé 1 del ZigBee Module with relay y la alarma está conectado al relé 2 del mismo dispositivo.

Estos relés son controlados desde una interfaz diseñada en LookoutV6.2

5.2.10 Dispositivos a programar

Para los dispositivos ZigBee no se tiene que programar nada, esto se debe a que estos dispositivos ya vienen pre-configurados, solamente se tiene que construir el programa que gestionara la Estación de Distribución para luego este programa ser cargado al PLC.

5.2.11 Pruebas

Para realizar las pruebas pertinentes se utiliza el software QModbus el mismo permite leer y escribir datos en los registros de cada dispositivo de la red ZigBee industrial.

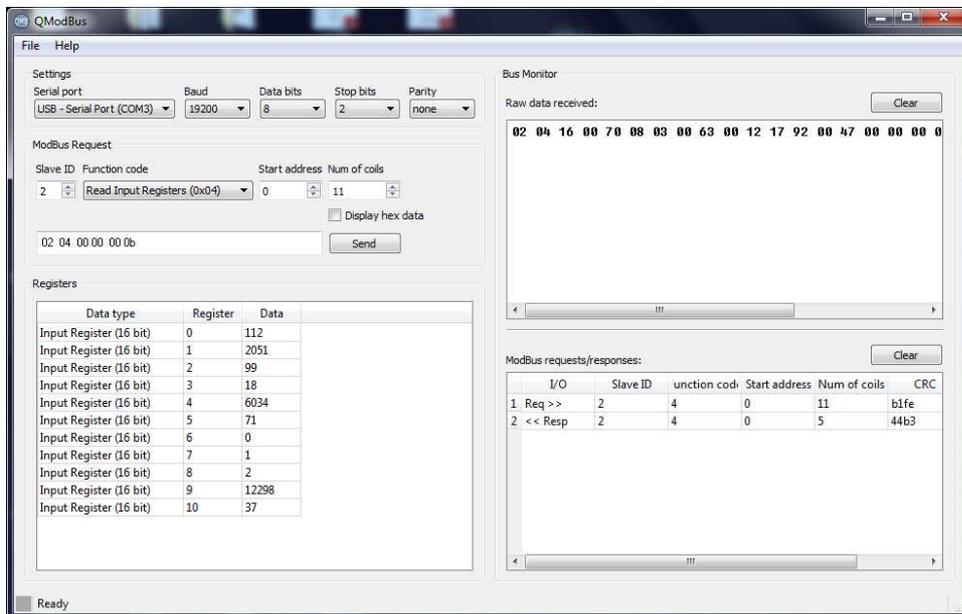


Figura V - 126 Respuesta de comunicación de los dispositivos en Red

CONCLUSIONES

- Durante el proyecto se alcanzaron los diferentes objetivos planteados, exponiendo las prestaciones del protocolo ZigBee y demostrando la factibilidad de un prototipo inalámbrico de adquisición de datos. Se espera que el prototipo presentado sea mejorado de forma continua y llegue a ser utilizado en un verdadero campo industrial. Igualmente, se pretende que el presente trabajo sirva de base para crear proyectos más ambiciosos que utilicen la tecnología ZigBee.
- La tecnología ZigBee/IEEE 802.15.4 es la más adecuada.
- Una vez estudiado las tecnologías inalámbricas Wi-fi, Bluetooth y ZigBee se llegó a la conclusión que ZigBee tiene una ventaja muy superior sobre las otras tecnologías para implementar redes industriales que requieran baja tasa de transferencia de datos, menor consumo de potencia, seguridad en sus datos y menor costo.
- Una vez implementado la red industrial en el laboratorio de automatización industrial de la EIS se concluye que ZigBee requiere de dispositivos muy sencillos, un Coordinador ZigBee, un Router ZigBee y un Dispositivo final ZigBee, mismos dispositivos que vienen pre-configurados y muy fáciles de instalar, cuyas dimensiones, potencia y costos muy reducidos son un factor a favor.
- Gracias a que no existen cables entre los dispositivos que se conectan entre sí, resultaría más fácil el montaje de la red, pues no se debería colocar materiales como canaletas y otros elementos que demoran el proceso de implementación y contribuyen a desmejorar el aspecto propio del lugar donde se instalen, pues saltan claramente a la vista; este es un factor que con la comunicación inalámbrica se puede evitar.

- Pese a que la tecnología ZigBee surge como una opción válida para la aplicación realizada, su factibilidad se pone en riesgo debido al costo de los dispositivos, principalmente porque éstos aún no se encuentran en el país y en la mayor parte de los casos, para desarrollar conectividad inalámbrica usando ZigBee es necesario importar los elementos requeridos.
- Mediante la guía de referencia propuesta para construir redes industriales mediante la tecnología ZigBee, es mucho más sencillo el implementar este tipo de redes, puesto que su instalación, configuración y ejecución lo puede hacer cualquier tipo de persona que no tenga conocimientos profundos sobre este tema, ahorrando de esta manera tiempo y recurso económico para implementar dicha red.

RECOMENDACIONES

- Perfeccionar y ampliar la red mediante ruteadores que mejoren el alcance del prototipo y permitan incrementar el número de posibles nodos dentro de la red, formando redes de topologías de mayor complejidad.
- Al momento de ubicar los nodos se debe comprobar las fuentes de interferencia, objetos y estructuras que debiliten las señales. Pese a ser un proceso controlado “inteligentemente” siempre se requerirá de la asistencia humana para controlar su buen funcionamiento.
- Las antenas que poseen los módulos ZigBee deben permanecer completamente descubiertas y erguidas para obtener resultados favorables tanto en la transmisión como en la recepción, pues si éstas se encuentran dobladas o cubiertas con objetos extraños el nivel de señal no sería el mismo y la información recibida (o transmitida) sería incorrecta, causando fallas en el funcionamiento del prototipo.
- Se recomienda probar el funcionamiento de cada una de las partes que conforman el prototipo construido, para así evitar tener resultados no deseados al momento de utilizar el prototipo en su totalidad.
- Realizando el diseño de la red ZigBee, surgieron algunas necesidades y alternativas al momento de escoger los elementos utilizados; en cuanto a su marca, modelo, capacidad, funcionamiento, disponibilidad en el mercado y costo. Lo importante es saber escoger de acuerdo a la necesidad por ejemplo: la(s) variable(s) a medir, rango, etc.

RESUMEN

Se implementó una red ZigBee industrial para la gestión de procesos industriales, en el Laboratorio de Automatización de la Escuela de Ingeniería en Sistemas de la ESPOCH. La red ZigBee industrial está conformada por los siguientes módulos: Gateway Modbus USB – ZigBee, Bridge ZigBee – Modbus RS485, ZigBee module with relay, PLC TWDLMDA20DTK con una interfaz de comunicación TWDNAC485T, Estación de Distribución y el módulo Control de Iluminación. Para el desarrollo del proyecto se adoptó la metodología de desarrollo de software XP (Xtreme Programming), incluyéndose fases de desarrollo, implementación y pruebas.

Para la gestión de los procesos industriales se implementó ecuaciones acorde al módulo mediante programación Ladder, las cuales se programaron en TwidoSoftV3.5, la monitorización e interfaz gráfica de administración, se realizó mediante LookoutV6.2.

Con la utilización de tecnología ZigBee se logró integrar el módulo Estación de Distribución y Control de Iluminación en una red ZigBee industrial que permite una transmisión confiable, segura, a baja tasa de transferencia de datos, menor consumo energético y menor costo, teniendo un 95% en el aprovechamiento del espacio físico, además mejorando en un 61% la gestión de los procesos.

En conclusión esta red se integró como un módulo fiable en el Laboratorio de Automatización de la Escuela de Ingeniería en Sistemas misma que pasará a ser tema de estudio en la materia denominada “Automatización Industrial”.

Se recomienda verificar el estado de las baterías de los dispositivos ZigBee para cuando se tenga que cambiar, tener cuidado en el manejo de estos equipos ya que son frágiles, así como también leer el manual de usuario para la correcta operación de la misma.

SUMMARY

An industrial ZigBee network management of industrial processes was implemented in the Automation Laboratory of the School of Engineering Systems ESPOCH.

Industrial ZigBee network consists of the following modules: Gateway Modbus USB - ZigBee, Bridge ZigBee - Modbus RS485, ZigBee module with relay, PLC TWDLMDA20DTK with a communication interface TWDNAC485T Station, Distribution and Lighting Control Module. To develop the project adopted the software development methodology XP (Xtreme Programming), including stages of development, implementation and testing.

For the management of industrial processes are implemented according to the module equations Ladder programmatically, which were scheduled at TwidoSoftV3.5, monitoring and management, realized through LookoutV6.2.

With the use of ZigBee technology is able to integrate the module Distribution and Control Station Lighting in industrial ZigBee network that enables reliable transmission, secure, low data transfer rate, lower power consumption and lower cost, and is 95% in the use of physical space, besides a 61% improvement in management processes.

In conclusion, this network will be integrated as a trusted module in the Automation Laboratory of the School of Systems Engineering will be same as subject of study in the subject called "Industrial Automation".

It is recommended to check the battery status of ZigBee devices for when you need to change, be careful in handling these devices as they are fragile, as well as read the user manual for the proper operation thereof.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ZigBee

ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance. Es un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

ZC

Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator) El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos, requiere memoria y capacidad de computación.

ZR

Router ZigBee (ZigBee Router) Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.

ZED

Dispositivo final (ZigBee End Device) Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

FFD

Dispositivo de funcionalidad completa, también conocidos como nodo activo. Es capaz de recibir mensajes en formato 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como Coordinador o Router ZigBee, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interfaces con los usuarios.

FRD

Dispositivo de funcionalidad reducida, también conocido como nodo pasivo. Tiene capacidad y funcionalidad limitadas con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

Wi-Fi

Abreviatura en inglés para "wireless fidelity". Un tipo de red inalámbrica, que usa el protocolo inalámbrico de alcance limitado IEEE 802.11b, transmite datos en banda ancha en el rango espectral de 2.4 GHz. Muchos hoteles, restaurantes, aeropuertos, etc. ofrecen acceso público a Internet por medio de WiFi. A estos lugares se les conoce como "hotspots".

BLUETOOTH

Es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz.

PLC

Dispositivo electrónico muy usado en automatización industrial. Un PLC, controla la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, procesan y reciben señales digitales y analógicas y pueden aplicar estrategias de control.

TWIDOPORT

TwidoPort añade conexiones Ethernet a la línea de productos Twido de Telemecanique. Es una pasarela entre un solo dispositivo Modbus/RTU (RS-485) Twido y la capa física de las redes Modbus/TCP en modo slav

2EMBDECOM

2Embedcom S.L es una empresa experta en soluciones de alto valor tecnológico: Localización GPS, Localización Personal, Comunicaciones GSM y GPRS, Displays, ZigBee, Bluetooth, Rfid, GSM Industrial, Domotica. Todas estas soluciones están orientadas a profesionales del sector, empresas de ingeniería y distribuidores.

MODBUS

El protocolo industrial de comunicaciones ModBus apareció en 1979 y fue desarrollado por la Gould Modicon ahora AEG Schneider Automation, para transmitir y recibir datos de control entre los controladores PLC y el computador.

ANEXOS

Anexo I

Planificación inicial

		Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pred	Nombres de los recursos
1		Fase I: Planificación	16 días	lun 27/09/10	lun 18/10/10		
2		Descripción del sistema	4 días	lun 27/09/10	jue 30/09/10		Segundo Hipo - Diego Morochó
3		Especificación de requerimientos	3 días	vie 01/10/10	mar 05/10/10	2	Segundo Hipo - Diego Morochó
4		Historias de usuarios	3 días	mié 06/10/10	vie 08/10/10	3	Segundo Hipo - Diego Morochó
5		Planificación inicial	3 días	lun 11/10/10	mié 13/10/10	4	Segundo Hipo - Diego Morochó
6		Plan de iteraciones	3 días	jue 14/10/10	lun 18/10/10	5	Segundo Hipo - Diego Morochó
7		Hito: fase de planificación	0 días	jue 14/10/10	jue 14/10/10		
8		Fase II: Diseño	19 días	vie 15/10/10	mié 10/11/10		
9		Diseño de software	19 días	vie 15/10/10	mié 10/11/10		
10		Graficet	4 días	vie 15/10/10	mié 20/10/10		Segundo Hipo - Diego Morochó
11		Diagramas de secuencia	4 días	jue 21/10/10	mar 26/10/10	10	Segundo Hipo - Diego Morochó
12		Diagramas de colaboración	3 días	mié 27/10/10	vie 29/10/10	11	Segundo Hipo - Diego Morochó
13		Diagrama de actividades	3 días	lun 01/11/10	mié 03/11/10	12	Segundo Hipo - Diego Morochó
14		Diagramas de estados	3 días	jue 04/11/10	lun 08/11/10	13	Segundo Hipo - Diego Morochó
15		Diagramas de despliegue	2 días	mar 09/11/10	mié 10/11/10	14	Segundo Hipo - Diego Morochó
16		Hito: Fase de diseño	0 días	mié 10/11/10	mié 10/11/10		
17		Fase III: Desarrollo	36 días	jue 11/11/10	jue 30/12/10		
18		Introducción	1 día	jue 11/11/10	jue 11/11/10		Segundo Hipo - Diego Morochó
19		Instalación de Software	3 días	vie 12/11/10	mar 16/11/10		
20		Instalación de TwidoSoft V3.5	1 día	vie 12/11/10	vie 12/11/10	18	Segundo Hipo - Diego Morochó
21		Instalación de Lookout V6.2	1 día	lun 15/11/10	lun 15/11/10	20	Segundo Hipo - Diego Morochó
22		Instalación de Qmodbus V2.0	1 día	mar 16/11/10	mar 16/11/10	21	Segundo Hipo - Diego Morochó
23		Creación de la Red	4 días	mié 17/11/10	lun 22/11/10	22	
24		Configuración equipos zigbee	6 días	mar 23/11/10	mar 30/11/10		
25		Configuración Gateway Modbus USB - ZigBee (ZC-GW-USB-EM).	2 días	mar 23/11/10	mié 24/11/10		Segundo Hipo
26		Configuración Bridge ZigBee - ModBus RS485 (ZR-BR-485-EM).	2 días	jue 25/11/10	vie 26/11/10	25	Segundo Hipo
27		Configuración ZigBee module with relay (ZR-TREL2-EM).	2 días	lun 29/11/10	mar 30/11/10	26	Segundo Hipo
28		Conexión de dispositivos ZigBee a procesos industriales	10 días	mié 01/12/10	mar 14/12/10	27	
29		Conexión del Bridge ZigBee - Modbus RS485 a la interfaz de comun	5 días	mié 01/12/10	mar 07/12/10		Diego Morochó
30		Conexión del ZigBee Module With Relay al Módulo Control de iluminac	5 días	mié 08/12/10	mar 14/12/10	29	Diego Morochó
31		Configuración puerto de comunicación TWDNAC485T del PLC TWDLMD.	4 días	mié 15/12/10	lun 20/12/10	30	Diego Morochó
32		Programación en LookoutV6.2.	3 días	mar 21/12/10	jue 23/12/10		Segundo Hipo - Diego Morochó
33		Gestión de Proceso industrial mediante LookoutV6.2.	4 días	lun 27/12/10	jue 30/12/10		Segundo Hipo - Diego Morochó
34		Hito: Fase de Desarrollo	0 días	jue 30/12/10	jue 30/12/10		
35		Fase IV: Pruebas	14 días	mar 04/01/11	vie 21/01/11		
36		Pruebas de Hardware	7 días	mar 04/01/11	mié 12/01/11		Segundo Hipo - Diego Morochó
37		Pruebas de Software	7 días	jue 13/01/11	vie 21/01/11	36	Segundo Hipo - Diego Morochó
38		Hito: Fase de Pruebas	0 días	vie 21/01/11	vie 21/01/11		

Anexo II

Manuales de Dispositivos

ZigBee

DISPOSITIVOS INALÁMBRICOS DE LA FAMILIA ZB-CONEXIÓN

GATEWAY MODBUS USB

(Código de Producto: ZC-GW-USB-EM)

Contenido

- 1) Características Generales del Dispositivo
- 2) Características Eléctricas del Dispositivo
- 3) Circuito y Esquema de Conexión
- 4) Dirección del Dispositivo
- 5) Crear la Red
- 6) Abrir y Cerrar la Red
- 7) Interfaz led/PushButton del Gateway
- 8) Desasociar el Gates
- 9) Parámetros de Comunicación Serial
- 10) Datos del Gateway
- 11) Comandos Especiales – Comando Contraseña
- 12) Modo de Trabajo
- 13) Tabla de Información del Router
- 14) Dirección alternativa del Gateway
- 15) Comunicación con dispositivos Modbus Conectados vía Router-Bridge

1) CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DISPOSITIVO

El Gateway Modbus USB (ZC-GW-USB-EM) pertenece a la familia de los dispositivos ZB-Conexión.

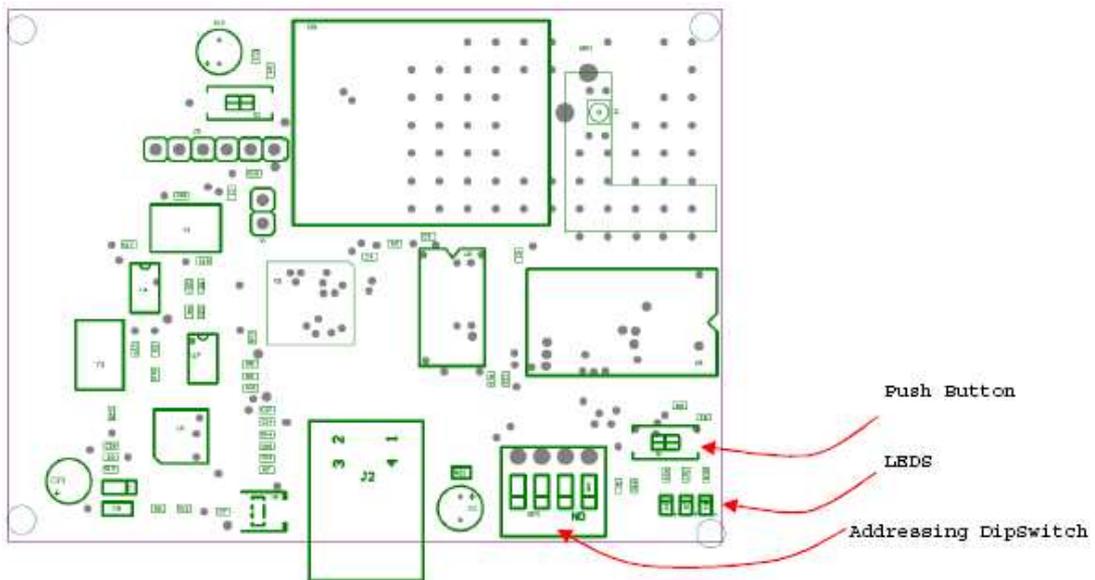
Su propósito ser una interfaz entre el mundo externo y una red ZB-Conexión.

El dispositivo se alimenta directamente del puerto USB; su papel en la red es de Coordinador, es decir forma parte activa de la creación de la red y mantiene el tráfico inalámbrico desde y hacia otros dispositivos similares, además puede funcionar como dispositivo principal para sensores de batería de la familia (ZED-PLC Sensores).

2) CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL DISPOSITIVO

Fuente	+5Vdc de la toma USB; 100mA
Características Inalámbricas	2405 MHz ÷ 2480 MHz Modulación DSSS Poder de Trasmisión Nominal 0 dBm Compatible con IEEE 802.15.4 Stack EmberZNet3.4.1 Stack versión 0 Propiedad de Profile ID Propiedad de Encriptación
Conexiones	Conector USB
Grado de Protección	IP68

3) CIRCUITO Y ESQUEMA DE CONEXIÓN



4) DIRECCIÓN DEL DISPOSITIVO

El dispositivo puede ser direccionado por el DipSwitch. El rango de direcciones válidas va desde 1 a 7.

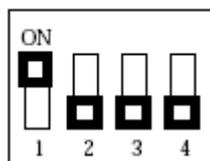
El DipSwitch es leído solamente cuando el dispositivo se enciende; una modificación en la posición del DipSwitch es tomado en consideración solamente después que el dispositivo ha sido reiniciado.

Poner el DipSwitch antes de encender el circuito y antes de que pertenezca a una red.

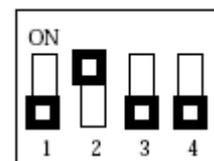
El DipSwitch se lee como sigue:

DIP1 = bit menos significativo; ON=1.

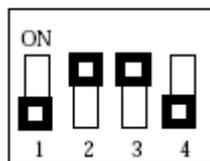
Ejemplos:



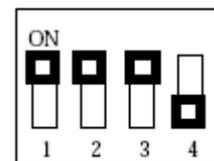
Address =1



Address =2



Address =6



Address =7

Nota:

DIP4 no se usa para asignar una dirección pero se usa para escoger la velocidad del puerto Serial (vea la sección 9).

Tenga cuidado cuando al asignar direcciones al Gateway para evitar ser incapaz de comunicarse con ella y por lo tanto no poderlo configurar a través de control remoto.

5) CREACION DE LA RED

Crear la red para el nodo Gateway implica el mismo proceso seguido para otros coordinadores ZB-conexión.

La creación de la red es la primera operación que se completará cuando se forma una red de dispositivos ZB-Conexión; El Gateway es el único dispositivo que puede completar esta operación.

Para crear la red es necesario para determinar los parámetros que describen completamente la red, ellos son el canal (que van desde 11 a 26), el panID (rango de 0 a 32767) y el PanID extendido (número de 8 bytes).

Crear la red en el momento de la primera instalación del Gateway, los parámetros de red que se encuentran durante el proceso permanecen indefinidamente en el dispositivo de memoria no volátil, siempre y cuando el dispositivo no está disociado voluntariamente.

Este proceso puede ser activada sólo si el dispositivo no tiene ya la red parámetros (no se unió al dispositivo).

Hay dos formas de crear una red en el Gateway que no está en la red:

- 1) Activar presionando el push-button.
- 2) Activar enviando el comando apropiado contraseña.

Activar pulsando el botón hace que la creación de la red sea automática, lo que significa el Gateway escanea todos los canales disponibles para encontrar el que tiene menos interferencias.

Cuando el canal más adecuado ha sido elegido, el gateway genera al azar parámetros panID y panID extendido (asegurando que no hay otras redes con el mismo valor).

Después que los parámetros han sido escogidos, la creación de la red se lleva a cabo.

Desde el Gateway es capaz de encontrar el canal más adecuado, se recomienda crear la red directamente en el lugar de la instalación final.

En cambio, cuando se activa mediante el envío de la contraseña de comandos, elegir el canal, panID y panID extendido se deja al operador.

Esta segunda opción es útil cuando una Gateway roto necesita ser reemplazada, por el suministro de los parámetros de red que son los idénticos ningún otro dispositivo de trabajo que es posible sustituir el Gateway sin necesidad de recreación de toda la red.

Es importante destacar un hecho de importancia fundamental: no hay dos Gateway con los mismos parámetros de red que deben funcionar en la misma red, lo que sería generar confusión, ya que tanto los dispositivos que comparten la misma dirección de red, y por lo tanto hacen imposible que la red funcione correctamente.

Para más explicaciones sobre la creación de redes presionando el push-button hacer referencia en el párrafo "Interfaz Led/push-button del Gateway", por más explicaciones sobre la activación de la creación de la red con una contraseña de comandos se refieren al apartado "comandos especiales".

6) ABRIR Y CERRAR LA RED

Una red abierta es una red que permite la unión de nuevos dispositivos, una red cerrada es una red que no permite la unión de nuevos dispositivos.

La red formada por dispositivos ZB-conexión es normalmente una red cerrada.

La apertura de la red sólo puede ser llevada a cabo por el Gateway.

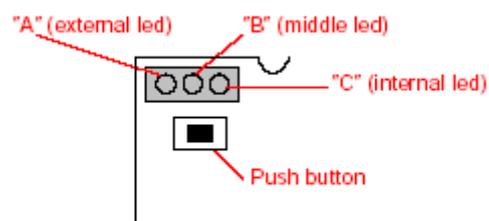
La apertura y cierre de la red se puede realizar pulsando el push-botón en el Gateway o usando el protocolo Modbus para enviar un comando al Gateway.

7) INTERFAZ LED/PUSH-BUTTON DEL GATEWAY

El Gateway tiene tres leds a través del cual es posible obtener información sobre el estado del dispositivo.

A demás, el Gateway tiene un push-button cual hace posible enviar comandos al dispositivo.

Nomenclatura de los leds del Gateway



Comportamiento de los leds en el encendido

Al reinicio del Gateway todos los leds ilumina por 2 segundos, luego todos los leds parpadean rápidamente durante otros 2 segundos.

Como funciona los leds cuando de Gateway no está en una red

Led "A" encendido, led "B" y led "C" apagados.

Como funciona los leds cuando el Gateway está en una red

Led "A": En estado de Trabajo.

Parpadeo lento (1Hz) -> Gateway Cerrado

Parpadeo rápido (4Hz) -> Gateway Abierto

Led "B" (led del medio): Enlace de Radio

Apagado -> Ningún Router con buen enlace en las proximidades

1 parpadeo -> Un Router con buen enlace en las proximidades

2 parpadeos -> Dos Router con buen enlace en las proximidades

3 parpadeos -> Cuatro o más Router con buen enlace en las proximidades

Led "C": Actividad de Radio

Normalmente apagado

Poco iluminado en la transmisión o recepción de un mensaje de Radio

Creando la Red

Cuando el Gateway no está en una red, presionar el push-button enciende el led "B".

Si el botón no se presiona de nuevo dentro de 10 segundos, el proceso de escaneo empieza a buscar el mejor canal inalámbrico.

El proceso de escaneo dura aproximadamente unos 20 segundos, durante el cual solamente el led "B" esta encendido.

Una vez que el proceso de escaneo se ha completado, el Gateway ha creado una red y el led “B” comienza a parpadear.

Abrir la red

Cuando el Gateway está en una red, al presionar el botón del circuito este abre la red (en este caso el led “A” parpadea).

Cerrar la red

Cuando la red está abierta, al presionar el botón del circuito la red se cierra.

Si la red se dejó abierta, se cierra automáticamente 15 minutos después de haber sido abierta.

8) DISOCIACIÓN DEL GATEWAY

La disociación del Gateway causa la pérdida de los parámetros de red y la restauración de la configuración por defecto.

La disociación se ejecuta presionando el botón por 10 segundos.

9) PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN SERIAL

El Gateway puede acceder a sus propios datos y los del resto de los dispositivos que forman la red utilizando el protocolo de comunicación Modbus-RTU Serial.

Para una mejor comprensión del estándar Modbus referirse a la documentación pertinente.

Los parámetros de comunicación serial son los siguientes:

Velocidad: 9600 bps (DIP 4 = off) / 19200 bps (DIP 4 = ON)

Bits de datos: 8

Paridad: Ninguno

Bits de parada: 2

Control de flujo: Ninguno

Dada la naturaleza del protocolo Modbus los datos de todos los dispositivos, incluido el del Gateway se dividen en cuatro áreas de la memoria:

InputRegister (16 bits, variable sólo de lectura)

InputStatus (1 bit, variable sólo de lectura)

HoldingRegister (16 bits, variable generalmente no volátil)

CoilStatus (1 bit, variable)

Los códigos de función implementada en el Gateway son:

01 - Leer estado de Colisión

02 - Leer estado de entrada

03 - Leer registros de las explotaciones

04 - Leer entrada de registro

05 - Forzar simple colisión

06 - Ingresar simple registro

10) Datos del Gateway

Datos del Gateway:

24 InputRegister

16 InputStatus

13 HoldingRegister

16 CoilStatus

10.1) Entrada de registros del dispositivo Gateway

InputRegister [0]	Device Type (=112)
InputRegister [1]	Firmware Version (Major/Minor)
InputRegister [2]	Transmission Power (dB+100)
InputRegister [3]	Network Channel (11-:-26)
InputRegister [4]	Network PanId (0 -:- 32767)
InputRegister [5]	Seconds from reset
InputRegister [6]	Counter of messages received from reset
InputRegister [7]	Number of used agent slots (number of sensors)
InputRegister [8]	Gateway Address
InputRegister [9]	Gateway EUI64 (bytes 0,1)
InputRegister [10]	Gateway EUI64 (bytes 2,3)
InputRegister [11]	Wireless Signal Level of the last message received from Gateway (dB+100)
InputRegister [12]	Number of Device connected through Bridge
InputRegister [13]	Number of End-Device children of Gateway
InputRegister [14]	Number of Resets
InputRegister [15]	Reset Type
InputRegister [16]	Number of free Packet Buffer
InputRegister [17]	Extended panID
InputRegister [18]	Extended panID
InputRegister [19]	Extended panID
InputRegister [20]	Extended panID
InputRegister [21]	Total Number of Routers present in the network
InputRegister [22]	Total Number of Routers neighbours
InputRegister [23]	Number of good Routers neighbours

10.2) Registro de Explotaciones del dispositivo Gateway

HoldingRegister [0]	Command password (1)
HoldingRegister [1]	Command password (2)
HoldingRegister [2]	Command password (3)
HoldingRegister [3]	Gateway working mode. Default value 21.
HoldingRegister [4]	Absolute Time (100*hour + minutes). Resetted each 24 hours.
HoldingRegister [5]	Period of transmission of regeneration routes message [sec] (default value=20sec)
HoldingRegister [6]	Command password (4)
HoldingRegister [7]	Command password (5)
HoldingRegister [8]	Command password (6)
HoldingRegister [9]	Command password (7)
HoldingRegister [10]	Gateway Alternate Address (used if dip-switch=0, default value=1)
HoldingRegister [11]	Minimum Address allowed for devices connected via Router-Bridge (default value =1)
HoldingRegister [12]	Maximum Address allowed for devices connected via Router-Bridge (default value =247)

10.3) Estado de Colisión Dispositivo Gateway

CoilStatus [0]	Activation of command password
CoilStatus [1]	Not used
...	...
CoilStatus [15]	Not used

10.4) Estado de Entradas dispositivo Gateway

InputStatus [0]	Gateway Network State (0= disconnected, 1= connected to a Network)
InputStatus [1]	Network closing/opening state (0= Network Close, 1= Network Open)
InputStatus [2]	Not used
...	...
InputStatus [15]	Not used

11) COMANDOS ESPECIALES - CONTRASEÑA DE MANDO

El comando password (HoldingRegister[0]) hace posible el envío comando especial para el Gateway.

El comando password se ejecuta sólo después de que Gateway detecta CoilStatus [0] establece en uno.

Command Name	Command Description	Value (dec)	Value (hex)
OPEN_NETWORK	Opens Network (like pressing push button)	5266	1492
CLOSE_NETWORK	Closes Network (like pressing push button)	5267	1493
DEVICE_BOOT	Sets up Gateway Bootloader	6504	1968
DEVICE_RESET	Resets Gateway	6512	1970
DEVICE_DISASSOCIATION	Disassociates Gateway	6515	1973
SET_NETWORK ⁽¹⁾	Network settings channel in CommandPassword2 (11:-26) panID in CommandPassword3 Extended panID in CommandPassword4,5,6,7	8193	2001
CHOOSE_NETWORK ⁽¹⁾	Network automatic choice (like pressing push button) - ether scan	8195	2003
CLEAR_ROUTER_SLOT	Clear router slot (index passed in CommandPassword2)	14337	3801
SWAP_ROUTER_SLOT	Swap router slots (index passed in CommandPassword2,3)	14338	3802
EQUALIZE_TXRXCOUNT	Imposta per ogni sonda il numero di pacchetti ricevuti uguale al numero di pacchetti trasmessi	14593	3901
BROADCAST_ROUTER_RESET ⁽²⁾	Launches broadcast message of reset of all Routers	16785	4191
BROADCAST_ROUTER_DISASSOCIATION ⁽²⁾	Launches all Routers disassociation broadcast message	16787	4193
BROADCAST_ROUTER_BOOT ⁽²⁾	Launches broadcast message of set up of all Routers bootloader	16789	4195
BROADCAST_ROUTER_REINIT-NETWORK ⁽²⁾	Launches network re-initialize Broadcast Message	16793	4199
BROADCAST_ROUTER_VERSION_QUERY ⁽²⁾	Launches Broadcast Version Query Message	20481	5001
BROADCAST_ROUTER_PING_QUERY ⁽²⁾	Launches Broadcast Ping Query Message	20482	5002

1) Estos comandos solo funcionan cuando el Gateway no está en una red (disociado el gateway).

2) Estos mensajes se pueden enviar también en únicas, pasando por el ShortID del Router destino en comandPassword2.

12) MODO DE TRABAJO

La variable no volátil HoldingRegister [3] (modo de trabajo) gestiona algunas acciones del Gateway.

Bit#0 Modo de trabajo - Tiempo de espera de la gestión de la comunicación

Bit#1 Modo de trabajo - Gestión de las excepciones de respuesta

Bit#2 Modo de trabajo - Transmisión hacia la gestión de bridges

Bit#3 Modo de trabajo – Modalidad de lectura del Holding Registro

Bit#4 Modo de trabajo - Facilitar el acceso a la tabla de información del Router

El valor por defecto para el parámetro Modo de trabajo es igual a 21

(Bit # 0 = 1, el bit # 1 = 0, el bit # 2 = 1, el bit # 3 = 0, el bit # 4 = 1).

12.1) Bit#0 del modo de trabajo - Tiempo de espera de la gestión de la comunicación

El Gateway monitorea continuamente el tiempo transcurrido entre los mensajes sucesivos de todos los dispositivos de su red (a excepción de los dispositivos conectados a dispositivos bridge).

Si el tiempo transcurrido desde la recepción del último mensaje es más de cuatro segundos el tiempo de transmisión automática del dispositivo (HoldingRegister [1] para todos los dispositivos ZB-Conexión), entonces los datos del sensor debe ser considerado en estado de tiempo de espera.

El comportamiento de; Gateway en relación con el estado de tiempo de espera de los sensores es gestionado por el bit#0 de parámetro de modo de trabajo.

Modo de trabajo, bit#0 = 0:

La Gateway permite acceder a los datos del sensor también en estado de espera. En ese caso la información de "validez" se puede deducir por la presencia de una bandera del mismo sensor (InputStatus [64]).

Modo de trabajo, bit#0 = 1:

La Gateway no le permite acceder a los datos del sensor cuando el sensor está en estado de tiempo de espera.

La solicitud de datos posibles de un sensor que se está en estado de tiempo de espera no obtiene respuesta (o se da una respuesta de error).

NB:

Si el tiempo transcurrido desde la recepción del último mensaje de un determinado sensor es superior a 100 minutos, el Gateway elimina el agente correspondiente.

En ese caso, cualquiera que sea el estado del Modo de trabajo bit#0, una solicitud de un posible datos no obtiene respuesta.

12.2) Bit#1 del Modo de trabajo - Gestión de las excepciones de respuesta

El bit#1 del Modo de trabajo maneja el comportamiento del Gateway en caso de que se datos solicitados relacionados con un dispositivo que no está unido a la red o en estado de tiempo de espera.

Modo de trabajo, bit#1 = 0:

No se da respuesta a una solicitud de datos relacionados con un dispositivo que no está unido a la red o en estado de espera.

Modo de trabajo, bit#1 = 1:

Una excepción de respuesta se da a una solicitud de datos relacionados con un dispositivo que no se unió a la red o en el estado de tiempo de espera.

El código de error dado por la respuesta de excepción es 05 (reconoce excepción).

Ejemplo: Solicitud de datos a un dispositivo cuya dirección es de 38

0x26, 0x02, 0x00, 0x04, 0x00, 0x02, 0xBE, 0xDD

Ejemplo: Respuesta del nodo 38 en el estado de tiempo de espera 0x26, 0x82, 0x05, 0x30, 0xA8

12.3) Bit#2 del Modo de trabajo - Transmisión hacia la gestión de Bridges

Modo de trabajo, bit#2 = 0:

Permite la transmisión de mensajes a los dispositivos conectados a dispositivos Bridges.

La solicitud de datos posible envía a un dispositivo no asignada en el Gateway implica la transmisión del mensaje de transmisión inalámbrica por el Gateway (el mensaje que se envía a todos los Routers que pertenecen a la red).

El propósito de este tipo de mensajes es para encontrar el dispositivo solicitado, por su propia naturaleza es un mensaje de peso por el tráfico inalámbrico por lo tanto, en caso de la activación de la transmisión hacia dispositivos bridges, se recomienda llamar a sólo los dispositivos que actualmente están unidos a la red.

Modo de trabajo, bit#2 = 1:

Se desactiva la transmisión de mensajes a los dispositivos conectados al dispositivo Bridge.

En tal caso, la red está compuesta sólo por los dispositivos ZB-conexión.

12.4) Bit#3 Del Modo de trabajo – Tendencia del Registro modalidad de lectura

Modo de trabajo, bit#3 = 0:

La lectura de cualquier registro de la tendencia de un sensor asignada en el Gateway es compuesto de los datos actualmente presentes en el sensor (datos copiados del último mensaje que el sensor envía al Gateway).

Lectura de un registro Holding después de sus declaraciones por escrito retorna el valor previamente presentes en el sensor hasta la entrega actual de la variación.

Modo de trabajo, bit#3 = 1:

La lectura de cualquier registro holding de un sensor asignada en Gateway es compuesto de los datos realmente presentes en el sensor y los datos posiblemente modificado por un escrito, pero aún no entregados.

Lectura de un registro holding después de sus declaraciones por escrito el valor acaba de cambiar sin cuidado si los datos se entregó o no.

12.5) Bit#4 del Modo de trabajo - Facilitar el acceso a la información de la tabla del Router

Modo de trabajo, bit#4 = 0:

Función desactivada.

Modo de trabajo, bit#4 = 1:

Dirección 200-254 están reservados a la extracción de información acerca de Routers en la red.

13) TABLA DE INFORMACIÓN DEL ROUTER

A partir de la versión 7.48.123, es posible extraer alguna información de del Gateway sobre todos los Routers en la red.

Estos datos no son necesarios en el funcionamiento normal de los dispositivos, pero podría ser una herramienta útil para la depuración y mantenimiento de la red.

La información está disponible en InputRegister (registros de sólo lectura) del Gateway, a partir de la dirección 1000.

Para cada Router de la red se reservan 12 InputRegisters consecutivos.

El orden de los Routers en la tabla refleja el orden de su incorporación a la red.

13.1) Información de la tabla del Router

InputRegister [1000] - InputRegister [1011]	1° Router joined to the network
InputRegister [1012] - InputRegister [1023]	2° Router joined to the network
InputRegister [1024] - InputRegister [1035]	3° Router joined to the network
InputRegister [1036] - InputRegister [1047]	4° Router joined to the network
InputRegister [1048] - InputRegister [1059]	5° Router joined to the network
...	...
InputRegister [1000+12*(i-1)] InputRegister [1011+12*(i-1)]	i° Router joined to the network
...	...
InputRegister [2524] - InputRegister [2535]	128° Router joined to the network

13.2) Acceso alternativo a la tabla de información de los ROUTERS

El acceso a la tabla de información del Routers también es posible a través de la lectura de InputRegister [0,11] de la dirección 200 a 254.

En este caso la función tiene que estar habilitado por el modo de bandera correspondiente Modo de Trabajo, bit#4 = 1), por defecto este modo está habilitado.

Si el Router no está disponible (por falta del Router o en el caso de tiempo de espera) una solicitud de lectura no genera la respuesta o genera una respuesta de excepción (dependiendo del modo de trabajo, bit# 0,1).

Modbus Address #200	1° Router joined to the network
Modbus Address #201	2° Router joined to the network
Modbus Address #202	3° Router joined to the network
Modbus Address #203	4° Router joined to the network
Modbus Address #204	5° Router joined to the network
...	...
Modbus Address #200+(i-1)	i° Router joined to the network
...	...
Modbus Address #254	55° Router joined to the network

13.3) Información de la tabla de entrada del Router

Estos son los datos que se pueden extraer de la tabla, en relación con cada uno de los Router presenta en la red:

InputRegister[...0]	State of the entry (0xFF=empty slot; 0=Router in time-out; 1=working Router)
InputRegister[...1]	Router Type (e.g. 101=Router ZR-BR-xx; 108=Router ZR-REP-xx)
InputRegister[...2]	Firmware Version
InputRegister[...3]	Router EUI64 (bytes 0,1)
InputRegister[...4]	Router EUI64 (bytes 2,3)
InputRegister[...5]	Router ShortID
InputRegister[...6]	Cost (distance from the Gateway in terms of hop)
InputRegister[...7]	Wireless Signal Level of the last message received (dB+100)
InputRegister[...8]	Number of Routers neighbours
InputRegister[...9]	Number of good Routers neighbours
InputRegister[...10]	Number of End-Device children of Router
InputRegister[...11]	Number of Presence Messages transmitted by Router and received from Gateway

13.4 Recuperación de información del Router

La información mostrada en la tabla se extrae de los mensajes de notificación que los Routers que envían al Gateway.

Estos mensajes de notificación se envía a la recepción de la señal de MTOR (varios a descubrir una ruta) generados por el Gateway.

La señal de MTOR se producen a intervalos regulares, y su objetivo principal es crear, mantener y actualización de enrutamiento al Gateway.

La frecuencia de transmisión de la Sena MTOR está programada en (HoldingRegister [5] del Gateway), su valor predeterminado es 20 segundos.

13.5 Comportamiento del tiempo de espera del Router

El estado de funcionamiento del Router (el primer InputRegister de cada ranura (slot) del Router) se gestiona desde el Gateway considerando los tiempos de mensajes de notificación recibidos.

Un Router se considera en estado off-line (estado = 0) si el Gateway no recibe mensajes de notificación de la misma por un período de más de 4 veces MTOR tiempo.

Si no hay mensajes son detectados a partir de un Router específico para un período de más de 100 minutos su ranura se inicializa (estado = 0xFF) y después se pondrá a disposición de cualquier nuevo Router unido a la red.

Además de este mecanismo de gestión automática de las entradas, hay dos comandos (Gestionado con contraseña comandos) para las entradas de la supresión y el intercambio.

13.6) tabla de dirección del Router Bridge de la RED

Además de los Routers la tabla de información no es otra tabla desde donde se puede y es posible leer la dirección de red (ShortID) del Router-Bridge vinculado a un dispositivo Modbus con una dirección Modbus.

Estas informaciones son accesibles en forma InputRegister (registros de sólo lectura) del Gateway, a partir de la dirección 100 a la dirección 354.

InputRegister [100]	ShortID of Router Bridge linked to Modbus device address 0
InputRegister [101]	ShortID of Router Bridge linked to Modbus device address 1
InputRegister [102]	ShortID of Router Bridge linked to Modbus device address 2
...	...
InputRegister [100+i]	ShortID of Router Bridge linked to Modbus device address i
...	...
InputRegister [354]	ShortID of Router Bridge linked to Modbus device address 254

14) DIRECCIONES ALTERNATIVAS DEL GATEWAY

A partir de la versión 7.50.125, es posible dar al Gateway cualquier dirección entre 1 y 247. Esto es posible escribir el valor deseado para el Gateway la dirección en el registro HoldingRegister [10].

La dirección alternativa sólo se utiliza si la dirección de los Dip-Switch se establece en cero.

Tras los pasos para configurar la dirección deseada para el Gateway (fuera de la rango normal 1... 7):

- 1) Establecer una dirección normal al Gateway (1 .. 7) por el dip-switch.
- 2) Escribe en HoldingRegister [10], el valor deseado para la nueva dirección del Gateway (comunicación con el Gateway a través de la dirección indicada por el dip-switch).
- 3) Apague el Gateway
- 4) Establecer la dirección 0 en el dip-switch
- 5) Encender el Gateway, desde este momento Gateway responderá a la dirección indicada por HoldingRegister [10].

15) COMUNICACIÓN CON DISPOSITIVOS MODBUS conectados a través de ROUTER-BRIDGE

La comunicación con los dispositivos Modbus conectados a través del Router-Bridge por defecto esta deshabilitado, Para habilitar esta función, debe actuar en el modo de parámetro de modo (setting bit # 2 = 0).

A partir de la versión 7.50.125, es posible establecer el mínimo y la dirección de máxima permitida para los dispositivos conectados a través de Router-Bridge.

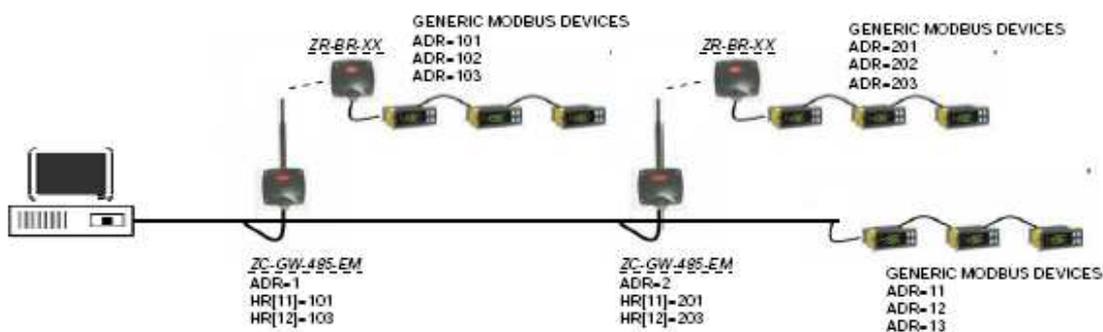
HoldingRegister [11] = mínima permitida para los dispositivos de dirección conectados a través de Router-Bridge (valor por defecto = 1)

HoldingRegister [12] = máximo permitido para los dispositivos de dirección conectados a través de Router-Bridge (valor predeterminado = 247)

Estos parámetros permiten hacer caso omiso de las peticiones del Gateway en serie a los productos cuya dirección está fuera del rango establecido.

Esto hace posible la conexión a los otros dispositivos Modbus a la línea Serial Gateway 4-noks.

En ausencia de este sistema de filtrado, la red sigue siendo capaz de funcionar, pero cualquier mensaje dirigido a un dispositivo en la línea serial se transformaría en un mensaje de radio por el Gateway 4-noks, y esto podría conducir a un empeoramiento del rendimiento de la red.



Ejemplo de un sistema compuesto por múltiples dispositivos en la misma línea serial.

DISPOSITIVOS INALÁMBRICOS DE LA FAMILIA ZB-CONEXIÓN

ROUTER BRIDGE RS485

(Código Producto: ZR-BR-486-EM)

Contenido

- 1) Características generales del dispositivo
- 2) Características eléctricas del dispositivo
- 3) Esquema de tarjeta y diagrama de conexión
- 4) Dirección del dispositivo
- 5) Asociar el dispositivo a una red compatible
- 6) Desvincular el dispositivo de una red
- 7) Interfaz de botones led
- 8) Características del dispositivo Modbus genérico conectado con el Puente (Bridge)
- 9) Características del tráfico de radio causado por el Puente (Bridge)
- 10) Limitaciones del Tráfico
- 11) Datos del Router-Bridge

1) CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DISPOSITIVO

Router-Bridge Modbus RS485 (ZR-BR-485-EM) pertenece a los dispositivos de la familia ZB-Conexión.

Su misión es permitir la comunicación con dispositivos estándar Modbus usando la infraestructura de red ZB-Conexión.

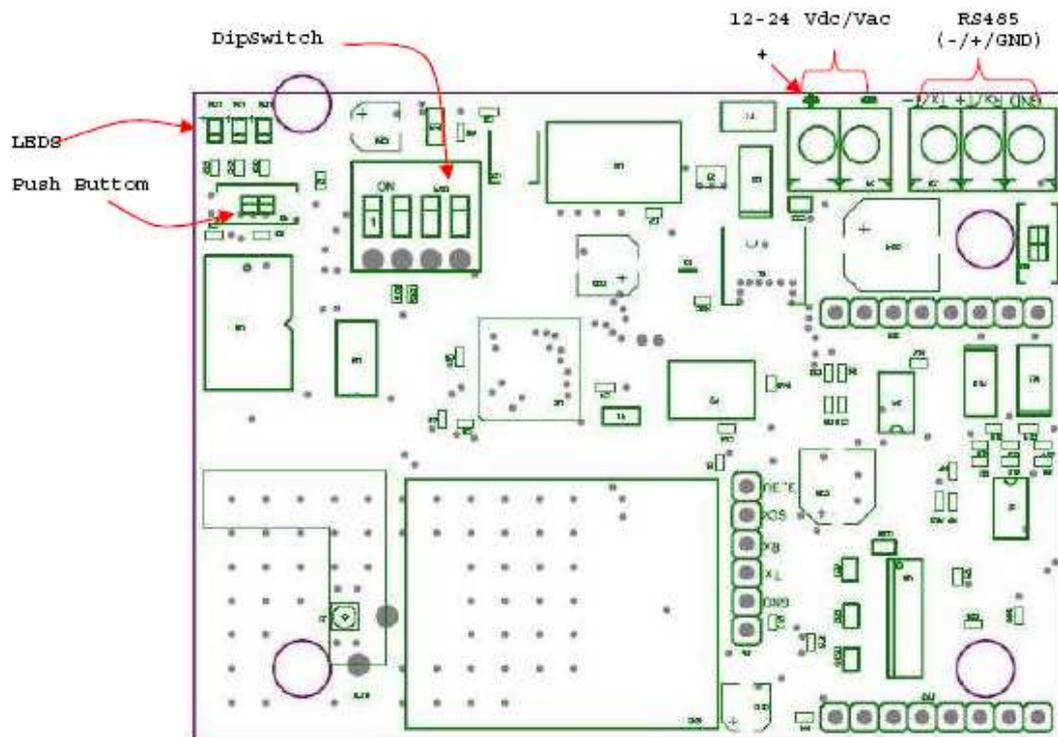
El dispositivo requiere un ininterrumpido suministro de energía de 12-24 Vac. o Vdc.

A los efectos de red, tiene la función activa de mantener el tráfico de radio desde y hacia otros dispositivos similares, y también puede actuar como un dispositivo padre para los sensores con batería de la misma familia.

2) CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL DISPOSITIVO

Fuente de Alimentación	12-:-24Vdc; 100mA 12-:-24Vac; 50/60Hz; 2,4VA
Características Inalámbricas	2405 MHz ÷ 2480 MHz Modulación DSSS Potencia Nominal de Transmisión 0 dBm Compatible con IEEE 802.15.4 Stack EmberZNet3.4.1 Stack versión 0 Propiedad de perfil ID Propietario clave de cifrado
Conexiones	Pull-out terminals (3, 81 mm pitch)
Clase de Protección	IP55

3) ESQUEMA DE TARJETA Y DIAGRAMA DE CONEXIÓN



4) DIRECCIÓN DEL DISPOSITIVO

El dispositivo no tiene una dirección

5) ASOCIAR EL DISPOSITIVO A UNA RED COMPATIBLE

El proceso a seguir para unir un Router-Bridge a una red, es la misma que para todos los Router ZB-Conexión.

El proceso de unión se activa automáticamente por el dispositivo si el nodo no tiene parámetros de red, esto ocurre si el dispositivo es nuevo o si ha sido voluntariamente disociado.

El proceso de unión consiste en escanear los 16 canales de radio, en busca de una red "abierta " y compatible (una red ZB-Conexión).

El escaneo continúa cerca de 20 segundos. Al final del proceso de escaneo si el proceso de unión termina sin éxito, entonces el dispositivo restea y el proceso de unión reinicia.

La apertura de la red se realiza mediante la estimulación del Gateway (para más información, consulte el documento relativo al Gateway).

6) DESVINCULAR EL DISPOSITIVO DE LA RED

La disociación del dispositivo provoca la pérdida de los parámetros de red, con la consecuente salida del dispositivo de la red al que pertenece.

La disociación puede ser ordenada por dos maneras

- 1) Recibir el comando apropiado password.
- 2) Presionar el PushButton de la tarjeta por lo menos durante 6 segundos.

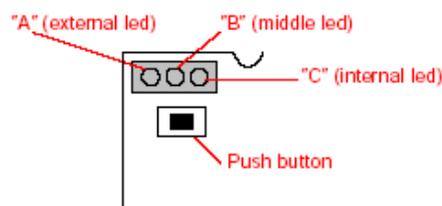
La disociación usando el push-button solo es posible en 20 segundos desde que el dispositivo esta encendido.

7) INTERFAZ LED/PUSH-BUTTON

El Router-Bridge tiene tres LEDS a través del cual es posible obtener información sobre el estado de funcionamiento del dispositivo.

Además, el Router-Bridge tiene un push-button que permite enviar comandos al dispositivo.

Nomenclatura de los LEDS del Router-Bridge



Comportamiento de los LEDS en la puesta en marcha

En el Reinicio del Router-Bridge todos los LEDS se encienden durante 2 segundos, luego todos los LEDS parpadean rápido durante otros 2 segundos.

Al final del destello el dispositivo comienza el funcionamiento normal.

Cómo funcionan los LEDS cuando el Router-Bridge no está en una red.

Led "A" en constante iluminación, LEDS "B" y "C" apagados.

Cómo funcionan los LEDS cuando el Router-Bridge está en una red.

Led "A": estado de Trabajo

Parpadeo lento (1Hz) -> Router Cerrada

Parpadeo rápido (4hz) -> Router Abierto

Led "B": (Led del Medio): Enlace de Radio

Apagado -> Ningún Router con buen enlace en las proximidades.

- 1 destello -> un Router con buen enlace in las proximidades
- 2 destellos -> Dos Routers con buen enlace in las proximidades
- 3 destellos -> Tres Routers con buen enlace in las proximidades

Led “C”: Actividad de radio

Por lo general apagado

Poco iluminado en la transmisión o recepción de un mensaje de radio.

8) CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS MODBUS CONECTADOS CON EL ROUTER-BRIDGE

El Router-Bridge puede conectar al Gateway ZB-Conexión uno o más dispositivos Modbus.

Los dispositivos conectados deben cumplir con la norma o estándar Modbus-RTU.

Los dispositivos Modbus se interconectan con el Router-Bridge por el puerto RS485.

Bits de datos: 8

Handshaking: ninguno

Los parámetros de comunicación restante deberán ser definidos mediante la creación del conmutador 4 en el Router-Bridge de acuerdo con la siguiente tabla:

DIP1 (baudrate)	DIP2	DIP3	DIP4 (stopbit)	Velocità	Parità	StopBit
OFF	OFF	OFF	OFF	9600	nessuna	2
ON	OFF	OFF	OFF	19200	nessuna	2
OFF	ON	OFF	OFF	9600	even - pari	2
ON	ON	OFF	OFF	19200	even - pari	2
OFF	OFF	ON	OFF	9600	nessuna	2
ON	OFF	ON	OFF	19200	nessuna	2
OFF	ON	ON	OFF	9600	odd - dispari	2
ON	ON	ON	OFF	19200	odd - dispari	2
OFF	OFF	OFF	ON	9600	nessuna	1
ON	OFF	OFF	ON	19200	nessuna	1
OFF	ON	OFF	ON	9600	even - pari	1
ON	ON	OFF	ON	19200	even - pari	1
OFF	OFF	ON	ON	9600	nessuna	1
ON	OFF	ON	ON	19200	nessuna	1
OFF	ON	ON	ON	9600	odd - dispari	1
ON	ON	ON	ON	19200	odd - dispari	1

Todos los dispositivos conectados al Router-Bridge deben tener una dirección unívoca.

Todos los dispositivos de la misma red 4-noks/MODBUSPRO deben tener una unívoca dirección.

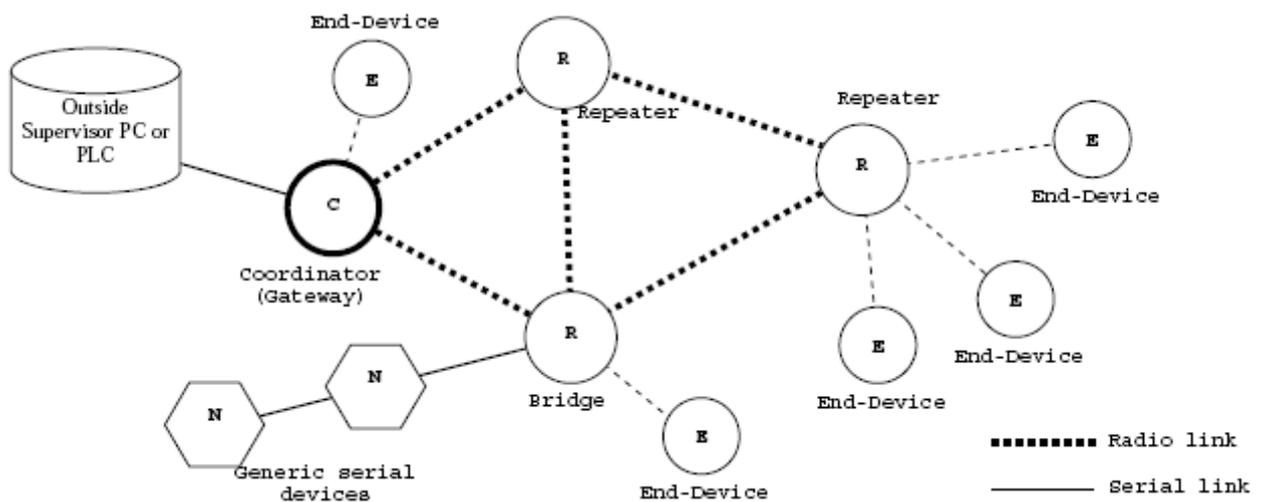
La presencia de direcciones duplicadas hace imposible el correcto funcionamiento de todos los dispositivos de la red.

9) CARACTERÍSTICAS DEL TRÁFICO DE RADIO CAUSADO POR ROUTER-BRIDGE

Una red ZB-Conexión se compone de varios dispositivos que se pueden dividir en dos grupos:

Dispositivos de propiedad de 4-noks

Dispositivos Modbus Genérico (que se adjunta a un Router-bridge)



Dispositivos de propiedad de 4-noks

Los dispositivos de propiedad de 4-noks envían hacia el Gateway la información sobre su situación interna con una cadencia regular o después de eventos específicos. Los datos se recogen en Gateway y se mantienen en la memoria interna, para estar a disposición cuando sea necesario (gestión de agente).

Si el dispositivo externo (supervisor PC o PLC) exige los datos de un dispositivo propietario de 4-noks, la respuesta se forma dibujando el dato local disponible en el Gateway.

Por este motivo un dato requerido a un dispositivo propietario de 4-noks no genera cualquier mensaje de radio, así que hay una separación completa entre la comunicación serial (entre el Gateway y el cliente) y el tráfico de red de radio (entre el Gateway y todos los dispositivos de propiedad de 4-noks).

Dispositivos Genérico Modbus (que se adjunta a un Router-bridge)

Si el dispositivo externo (supervisor PC o PLC) requiere datos desde un dispositivo genérico Modbus el mensaje de serie se convierte en un mensaje de radio y es enviado al Router-bridge de la cual el dispositivo Modbus genérico está asociado.

Como el Router-Bridge recibe el mensaje de radio desde el Gateway que se encarga de enviarlo a la línea serie.

La respuesta viene desde el dispositivo Modbus genéricos llega al Router-Bridge, se transforma en un mensaje de radio y se envía al Gateway que, en último, se encarga de convertirlo en un mensaje de serie para ser enviados hacia el dispositivo exterior.

Gateway y Router-Bridge son sustancialmente responsables únicamente para el transporte del mensaje. A diferencia del primer caso no hay ninguna separación entre el el tráfico local de serie (entre el Gateway y el cliente externo) y el tráfico de radio presentes en la red.

Esto implica que para un correcto funcionamiento de la red del tráfico de serie local debe tener en cuenta los límites intrínsecos de la red de radio.

10) LIMITACIONES DE TRÁFICO

Las solicitudes requeridas a los dispositivos genéricos Modbus tienen las siguientes limitaciones:

Longitud del mensaje

Tanto las solicitudes y las respuestas no debe exceder la longitud de 52 bytes, lo que implica la prohibición de leer más de 26 registros (o HoldingRegister o InputRegister) en un único mensaje.

Solicitud de frecuencia

El tiempo transcurrido entre la recepción de una respuesta y la siguiente petición debe no ser inferior a un segundo.

La frecuencia de las solicitudes en el caso de ausencia de respuesta

El retardo de tiempo entre dos peticiones consecutivas la primera de las cuales no ha respuesta recibida no debe ser inferior a 3 segundos.

Esto se traduce en un tiempo de espera de comunicación de al menos 3 segundos.

11) DATOS DEL ROUTER-BRIDGE

Es posible extraer algunos datos sobre el funcionamiento del Router-Bridge. Estas informaciones son accesibles a través de la lectura de 12 direcciones InputRegister puesto de 40001 a 40011.

La solicitud de lectura debe ser dirigida a la misma dirección lógica de uno de los dispositivos Modbus conectado al Router-Bridge.

11.1) Registros de Entrada del Router Bridge

InputRegister[40001]	Router-Bridge Device Type (101)
InputRegister[40002]	Router-Bridge Firmware Version
InputRegister[40003]	Router-Bridge EUI64 (bytes 0,1)
InputRegister[40004]	Router-Bridge EUI64 (bytes 2,3)
InputRegister[40005]	Router-Bridge ShortID
InputRegister[40006]	Cost (distance from the Gateway in terms of hop)
InputRegister[40007]	Wireless Signal Level of the last message received (dB+100)
InputRegister[40008]	Number of Router-Bridge neighbours
InputRegister[40009]	Number of good Router-Bridge neighbours
InputRegister[40010]	Number of End-Device children of Router-Bridge
InputRegister[40011]	Received message counter

DISPOSITIVOS INALÁMBRICOS DE LA FAMILIA ZB-CONEXIÓN

Router ZR-TIREL2

(Código de Producto: ZR/TIREL-EM)

Contenido

- 1) Características generales del dispositivo
- 2) Características eléctricas del dispositivo
- 3) Circuito y diagrama de Conexión
- 4) Dirección del dispositivo
- 5) Asociar el dispositivo a una red compatible
- 6) Desasociar el dispositivo de una red
- 7) Interfaz led/push-button
- 8) Parametrización por defecto y programación Maximo/Minimo
- 9) Descripción del proceso de adquisición de temperatura
- 10) Descripción del proceso de gestión de alarma de temperatura
- 11) Descripción del proceso de regulación (gestión de relé)
- 12) Adquisición de datos del dispositivo (agente)
- 13) Comandos especiales – comando password

1) CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DEL DISPOSITIVO

Router Tirel2 (ZR-TIREL2-EM) pertenece a la familia de dispositivos ZB-Conexión.

Tiene una entrada de sensor térmico, dos entradas digitales y dos salidas de relé

Tiene la tarea fundamental de adquirir sus entradas, actúa un proceso de regulación de todos estos mensajes estos relés y el envío de datos adquiridos y generados en intervalos regulares, a un Gateway compatible.

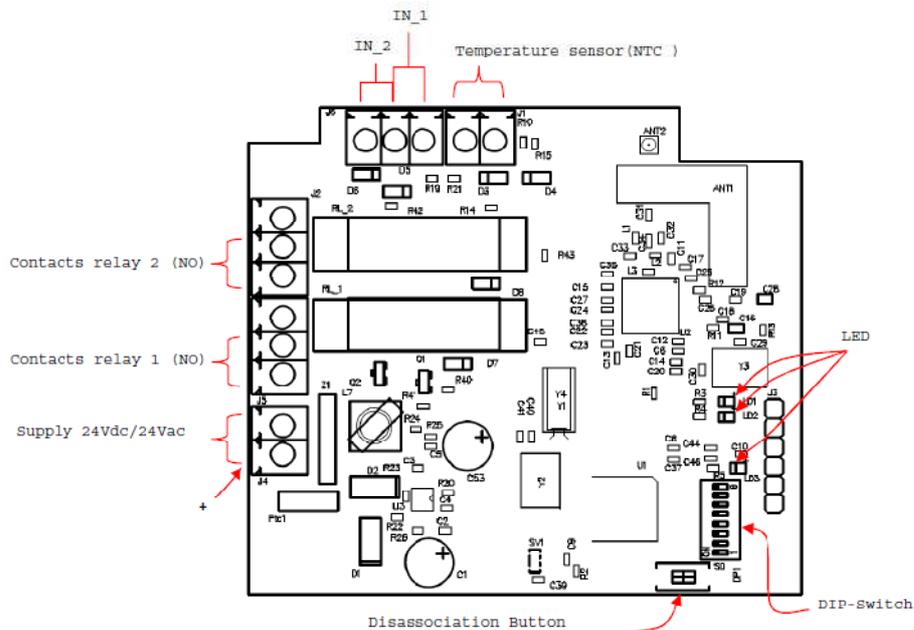
El dispositivo requiere de una interrumpida fuente de alimentación de 24 Vdc (o 24 V ac).

A los efectos de red, es decir, se trata de un Router que tiene la función activa de mantener el tráfico de radio desde y hacia otros dispositivos similares, y también puede actuar como un dispositivo padre para nodos de alimentación de batería de la misma familia.

2) CARACTERÍSTICA ELÉCTRICA DEL DISPOSITIVO

Alimentación	24Vdc ($\pm 10\%$); 100mA 24Vac ($\pm 10\%$); 50/60Hz; 2,4VA
Características Inalámbricas	2405 MHz \div 2480 MHz Modulation DSSS Potencia nominal de transmisión de 0 dBm Compatible con IEEE 802.15.4 Stack EmberZNet3.4.1 Stack version 0 Propiedad profile ID Propiedad clave de cifrado
Entrada sensor térmico	Tipo de sensor NTC 103AT tipo(R25 = 10 KOhm; Beta = 3435K) Rango de medición -50°C - +50°C Resolución de lectura 0.1°C Precisión de lectura $\pm 0.5^\circ\text{C}$
Características de la entrada digita	Insumo no aislado para contacto limpio
Características del Relé	Bobina de 24Vdc Contacto 5A 250V
Conexiones	Salidas terminales (3.81 mm recubra)
Clase de protección	IP55

3) CIRCUITO Y DIAGRAMA DE CONEXIÓN



4) DIRECCIÓN DEL DISPOSITIVO

El dispositivo puede ser direccionado por un DipSwitch.

Rango de direcciones válidas entre 16 y 127.

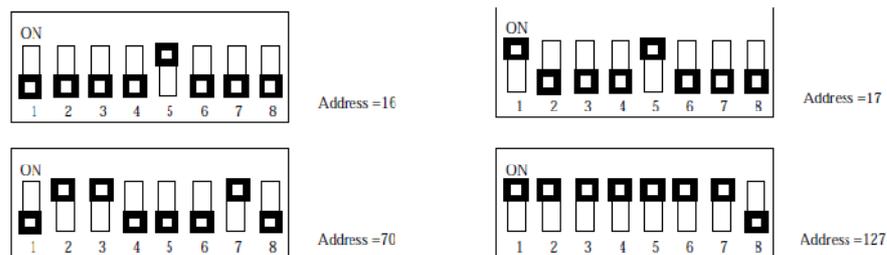
El DipSwitch es leído solo al evento de reinicio. Una modificación en la posición del DipSwitch es tomada en consideración solo después de reinicio del dispositivo.

Poner el DipSwitch antes de encender el dispositivo y antes de insertarlo a la red.

La lectura del DipSwitch es archivada como lo siguiente:

DIP1 = bit menos significativo; estado ON = 1.

Ejemplos:



Atención

Tenga cuidado al asignar las direcciones. Dos equipos con la misma dirección que inserta sus datos en un contenedor el Gateway y estos generarían ambigüedad, lo que sería difícil identificar en posteriores operaciones de Red.

5) ASOCIAR EL DISPOSITIVO A UNA RED COMPATIBLE

El proceso a seguir cuando anexa el nodo TIREL2 a una red es el mismo que para todos los enrutadores de ZB- conexión.

El proceso de anexo es activado automáticamente por el dispositivo si el nodo no tiene parámetros de red, esto ocurre si el dispositivo es nuevo o si ha sido desasociado voluntariamente.

El proceso de escaneo consiste en escanear todos los 16 canales de radio, en busca de una red abierta y disponible (es decir una red ZB-conexión).

Luego de escanear por aproximadamente 20 segundos. Si el proceso de escaneo termina insatisfactoriamente, el dispositivo reinicia y el proceso de anexo es restablecido.

La apertura de la red se realiza por estimulación del Gateway, pulsando el push-button del dispositivo o enviando el comando apropiado.

6) DISOCIACIÓN R EL DISPOSITIVO DE LA RED

La disociación del dispositivo de la red causa la pérdida de parámetros, con la consecuente de la salida del dispositivo de la red a la que pertenece.

Además de la pérdida de parámetros de red, el dispositivo carga por defectos los valores para cada uno de sus parámetros de funcionamiento (HoldingRegister).

La disociación puede ser ordenada por dos maneras:

- 1) Recibiendo el comando apropiado
- 2) Presionando el push-button del circuito por más de 6 segundos.

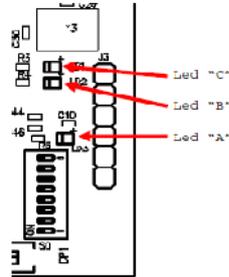
La disociación usando el sush-button es posible solo en 20 segundos desde cuando el dispositivo ha sido encendido.

7) INTERFACES LED/PUSH-BUTTON

TIREL2 tiene tres leds a través del cual es posible obtener información en el estado de operación del dispositivo.

Además, el Router-Bridge tien un push-button que permite enviar comandos al dispositivo.

Nomenclatura del los leds del Tirel2



Comportamiento de los leds en la puesta en marcha

En el reinicio del TIREL2 todos los leds se encienden durante 2 segundos, a continuación, todos los leds parpadean rápidamente durante otros dos segundos.

Al final del parpadeo el dispositivo empieza el funcionamiento normal.

Funcionamiento de los leds cuando el dispositivo no está en la Red

Led "A" en constante iluminación, led "B" y led "C" apagados.

Funcionamiento de los leds cuando el dispositivo está en la Red

Led "A": estado de trabajo.

Parpadeo lento (1Hz) -> Router Cerrado

Parpadeo rápido (4Hz) -> Router Abierto

Led "B" (Led del Medio): Enlace de Radio

Apagado -> ningún Router con buen enlace en las proximidades

1 parpadeo -> Un Router con buen enlace en las proximidades

2 parpadeos -> Dos Routers con buen enlace en las proximidades

3 parpadeos -> Tres o más Routers con buen enlace en las proximidades

Led “C”: Actividad de Radio

Usualmente apagado

Poco iluminado en la transmisión o recepción de un mensaje de radio.

8) PARAMETRISACIÓN POR DEFECTO Y PROGRAMACIÓN MAXIMO/MINIMO

El dispositivo tiene seis parámetros de operación, que se guardan en la memoria no volátil y en momento de inicialización se cargan con valores por defecto.

Los parámetros de carga por defecto también se llevan a cabo después de la disociación del dispositivo.

En el momento de la programación de uno de los parámetros de funcionamiento, el dispositivo comprueba que el nuevo valor se encuentra dentro de los límites máximos mínimo preestablecido.

Si el nuevo valor es menor que el mínimo preestablecido, el valor eficaz por escrito será igual al mínimo. Si el nuevo valor es mayor que el valor máximo preestablecido, el valor eficaz por escrito será igual al máximo.

Parámetros	Min	Max	Defecto	Unidad
Tiempo de Transmisión	1	3600	20	[Seg]
Umbral de alarma de baja temperatura	-50,0	50,0	0,0	[°C]
Umbral de alarma de alta temperatura	-50,0	50,0	30,0	[°C]
Regulación de histéresis	1,0	10,0	2,0	[°C]
Regulación depuesta a punto	-50,0	50,0	20,0	[°C]
Modo de regulación (0=apagado; 1=frio;2=caliente; 3,4,5=manual)	0	5	0	//

9) DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA

El dispositivo ejecuta adquisiciones continuas (una cada segundo) de un sensor NTC (No entregado con el producto) 103AT tipo (R25=10KOhm; Beta=3435k).

El rango de adquisición de la temperatura está entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para los valores de temperatura fuera de estos límites, el dispositivo indica el sensor error a través de una bandera específica.

Si la entrada del sensor está en cortocircuito, la temperatura se mostró $+100,0\text{ }^{\circ}\text{C}$; por el contrario, si la entrada del sensor está abierto, la temperatura mostrada es $-50,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

10) DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE GESTIÓN DE ALARMA DE TEMPERATURA

El dispositivo compara constantemente (una vez por segundo) la temperatura detectada por el sensor a los parámetros que definen los límites de alarma.

No hay retrasos en la activación de la señal de alarma. La bandera de la avería de referencia es activa tan pronto como la temperatura se eleva por encima del límite de temperatura alta o cae por debajo del límite de temperatura baja.

Si temperatura $>$ Limite de Temperatura alta \rightarrow Bandera de alarma alta =1.

Si temperatura \leq Limite de Temperatura alta \rightarrow Bandera de alarma alta =0.

Si temperatura $<$ límite de Temperatura baja \rightarrow Bandera de alarma baja =1.

Si temperatura \geq límite de Temperatura baja \rightarrow Bandera de alarma baja =0.

Fallo del sensor no se tiene en condición de alarma de la temperatura durante el análisis.

Si la entrada de corto circuitos del sensor (señalización $+100,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) además de la bandera de fallo del sensor, la bandera de alarma de temperatura alta también se activa.

Si la entrada del sensor es abierta (señalización $-50,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) además la bandera de fallo del sensor, la bandera de alarma de temperatura baja también se activa.

11) DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE REGULACIÓN (GESTIÓN DE RELÉ)

El proceso de regulación se lleva a cabo de forma continua (una vez por segundo) y se ajusta por el parámetro del modo de regulación.

Modo =0

La regulación es deshabilitada y los relés están deshabilitados

Modo = 1 (en frio)

La regulación es la siguiente:

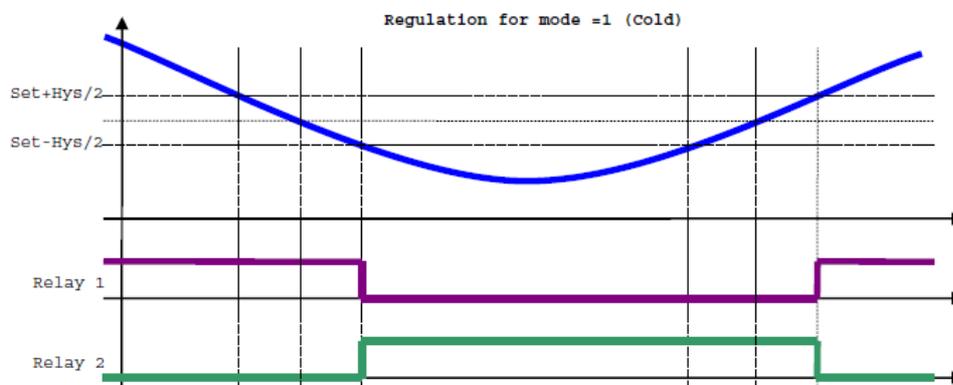
Alto umbral = Punto de ajuste + Histéresis / 2

Bajo umbral = Punto de ajuste - Histéresis / 2

Si > alta temperatura umbral -> El relé 1, el relé 2 Off

Si la temperatura <Bajo Umbral -> Enlace 1 de descuento, el relé 2 A

El proceso de regulación se resume en el siguiente dibujo



Modo = 2 (en Caliente)

La regulación es la siguiente:

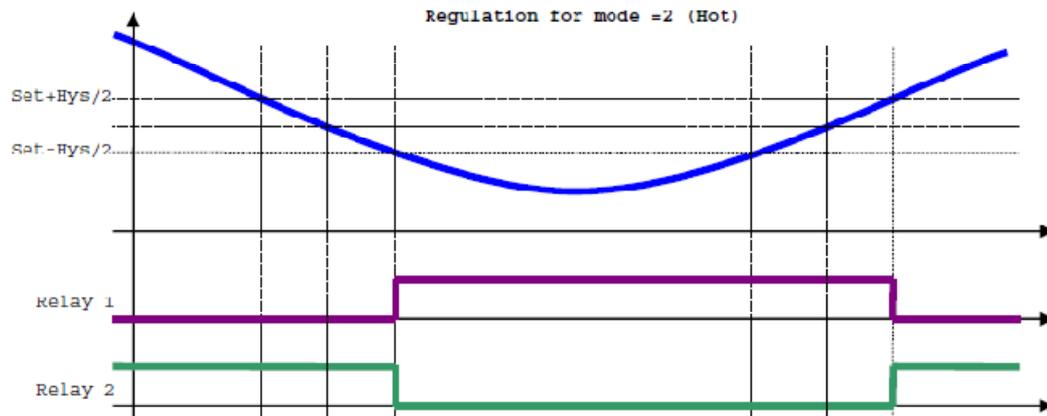
Alto umbral = Punto de ajuste + Histéresis / 2

Bajo umbral = Punto de ajuste - Histéresis / 2

Si > alta temperatura umbral -> Enlace 1 de descuento, el relé 2 A

Si la temperatura <Bajo Umbral -> El relé 1, el relé 2 Off

El proceso de regulación se resume en el siguiente dibujo.



Regulación en el caso de fallo del sensor

En el caso de una falla del sensor, la regulación está deshabilitada y los relés son desactivados.

Modo = 3 (Manual)

En este caso el estado del relé es controlado por CoilStatus[1] and CoilStatus[2].

Modo 4 (Manual con push-button control de entrada)

En cuanto al modo de relé de estado 3 es controlada por CoilStatus [1] y CoilStatus [2].

Además, el estado del relé 1 es controlado por un pulsador conectado a entrada digital IN_1 y el estado del relé 2 se controla mediante un pulsador relacionado con IN_2 entrada digital.

La acción en el botón hace que la inversión del nivel de la lógica de la relación con el relé.

Modo = 5 (Manual con un switch control de entrada)

En cuanto al modo de relé de estado 3 es controlada por CoilStatus [1] y CoilStatus [2].

A demás el estado del relé 1 es controlado por un switch conectado a la entrada digital IN_1 y el estado del relé 2 es controlado por un switch conectado a la entrada digital IN_2.

La acción en el switch provoca que el nivel de inversión del nivel lógico de el relé.

12) ADQUISICIÓN DE DATOS DEL DISPOSITIVO (AGENTE)

Como casi todos los dispositivos de conexión-ZB, dispositivo TIREL2 muestra sus datos a través de un agente.

El agente de un dispositivo en particular reside localmente en la puerta de enlace, y se compone por los datos enviados a través de la radio y por los datos generados por la misma puerta de enlace.

La puerta de enlace permite el acceso en modo lectura y escritura a los agentes relacionados con los dispositivos pertenecen a la red y los datos de puerta de enlace a través de una interfaz en serie y el protocolo Modbus.

Dada la naturaleza del protocolo Modbus, los datos se dividen en cuatro áreas de memoria:

InputRegister (16-bit variables solo en modo de lectura)

InputStatus (1-bit variables solo en modo de lectura)

HoldingRegister (16-bit generalmente variable no volátil)

CoilStatus (1-bit variables)

El Gateway es compatible con el Modbus comandos más comunes como la única y la lectura secuencial de todos los espacios de la memoria y la escritura única y secuencial de todos los registros de las explotaciones y los estados de la bobina.

El dispositivo TIREL2 tiene los siguientes datos:

(10 + 5) InputRegister

80 InputStatus

(7+1) HoldingRegister

16 CoilStatus

12.1 Registro de entradas del TIREL2

InputRegister[0]	Type of device (=10)
InputRegister[1]	Firmware version (Major/Minor)
InputRegister[2]	Messages sent by device counter
InputRegister[3]	Level of the radio signal of the last message received by the device ⁽²⁾
InputRegister[4]	Temperature (expressed in tenths of degree centigrade, -50,0°C -:- +100,0°C)
InputRegister[5]	Seconds passed since receiving last messages ⁽¹⁾
InputRegister[6]	Counter of messages received from Gateway ⁽¹⁾
InputRegister[7]	Gateway Receiving instant time (100 * hours + minutes) ⁽¹⁾
InputRegister[8]	Signal Level of the last message received from Gateway ^{(1) (2)}
InputRegister[9]	Device network address ⁽¹⁾
InputRegister[10]	Copy of InputStatus[0..15]
InputRegister[11]	Copy of InputStatus[16..31] (holdingRegister writing pendencies flag) ⁽¹⁾
InputRegister[12]	Copy of InputStatus[32..47] (not used) ⁽¹⁾
InputRegister[13]	Copy of InputStatus[48..63] (coilStatus writing pendencies flag) ⁽¹⁾
InputRegister[14]	Copy of InputStatus[64..79] (general pending flag and presence flag) ⁽¹⁾

(1) Los datos no son enviados por el dispositivo pero generados por el Gateway.

(2) La señal de radio valor de nivel proporciona información sobre el valor de la energía en relación con el último salto realizado por el mensaje de radio. El valor se expresa en dB a 100, que varía de un mínimo de 8 (señal muy mala) a un máximo de 70 (máximo de la señal).

12.2) Registros Holding del dispositivo TIREL2

HoldingRegister[0]	Command password
HoldingRegister[1]	Transmission time (expressed in seconds)
HoldingRegister[2]	Low Temperature threshold alarm (expressed in tenths of degree centigrade)
HoldingRegister[3]	High Temperature threshold alarm (expressed in tenths of degree centigrade)
HoldingRegister[4]	Regulation hysteresis (expressed in tenths of degree centigrade)
HoldingRegister[5]	Regulation Set Point (expressed in tenths of degree centigrade)
HoldingRegister[6]	Regulation mode (0=off ; 1=cold ; 2=hot; 3,4,5=manual)
HoldingRegister[7]	Copy of CoilStatus[0..15]

12.3) Estados de Colisión del dispositivo TIREL2

CoilStatus[0]	Command password activation.
CoilStatus[1]	Setting Relay 1 status in manual mode
CoilStatus[2]	Setting Relay 2 status in manual mode
...	...
CoilStatus[15]	Not used

12.4) Estados de entrada del dispositivo TIREL2

InputStatus[0]	High temperature alarm
InputStatus[1]	Low temperature alarm
InputStatus[2]	Relay 1 status
InputStatus[3]	Relay 2 status
InputStatus[4]	Status of digital input IN_1 (1=open OC ; 0=closed CC)
InputStatus[5]	Status of digital input IN_2 (1=open OC ; 0=closed CC)
InputStatus[6]	Sensor error (1= sensor error ; 0 = sensor correct)
InputStatus[7]	NOT used
...	...
InputStatus[16]	HoldingRegister[0] writing pendencies ⁽¹⁾
InputStatus[17]	HoldingRegister[1] writing pendencies ⁽¹⁾
InputStatus[18]	HoldingRegister[2] writing pendencies ⁽¹⁾
InputStatus[19]	HoldingRegister[3] writing pendencies ⁽¹⁾
InputStatus[20]	HoldingRegister[4] writing pendencies ⁽¹⁾
InputStatus[21]	HoldingRegister[5] writing pendencies ⁽¹⁾
InputStatus[22]	HoldingRegister[6] writing pendencies ⁽¹⁾
InputStatus[23]	Not used
...	...
InputStatus[40]	CoilStatus[0..15] writing pendencies ⁽¹⁾
InputStatus[49]	Not used
...	...
InputStatus[64]	Device presence status (agent data validity) ⁽²⁾
InputStatus[65]	General status of pending (Logic OR of all writing pendencies) ⁽¹⁾
InputStatus[66]	Not used
...	...
InputStatus[79]	Not used

(1) Estos indicadores son administrados por la puerta de enlace y se fijan a la vez que un registro de la explotación o el estado de la bobina grupo que está escrito. Se trata de restablecer en el momento de la recepción efectiva de los datos por el dispositivo (que se produce inmediatamente después de la transmisión).

(2) la bandera de la presencia del dispositivo está gestionado por la puerta de enlace, sino que se establece cuando los datos actuales es válida.

La bandera se pone a cero si la puerta de enlace no recibe mensajes desde el dispositivo por un tiempo más de cuatro veces el tiempo de transmisión automática.

13) COMANDOS ESPECIALES – COMANDO PASSWORD

Los comandos se pueden utilizar para dar al dispositivo de ciertos comandos especiales.

El comando se realiza cuando el bit CoilStatus [0] está establecido.

HoldingRegister [0] (HEX)	HoldingRegister [0] (DEC)	Action
0x1968	6504	Start device Bootloader
0x1970	6512	Device reset
0x1973	6515	Device disassociation
0x1975	6517	Network re initialization

Anexo III

**Manual de Usuario Sistema
de Gestión de la Red
ZigBee Industrial**



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

MANUAL DE USUARIO

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA RED ZIGBEE INDUSTRIAL

PRESENTADO POR:

Segundo Efraín Hipo León

Diego Armando Morocho Lemache

RIOBAMBA – ECUADOR

- 2011 -

INTRODUCCIÓN

Este manual presenta toda la información referente al manejo del sistema para gestionar la red ZigBee para aplicaciones Industriales implementada en el Laboratorio de Automatización Industrial de la EIS de la ESPOCH, con el fin de que el usuario pueda tener una completa visión de todo su contenido, clasificando la información de forma progresiva para que se siga paso a paso, por lo que se recomienda leer detenida y completamente el contenido de este manual.

El siguiente **Manual de Usuario** como una guía indispensable que debe ser estudiada antes de poner en marcha el funcionamiento del sistema de gestión de la red ZigBee Industrial, detallando todas las funciones con las que cuenta, y se explicará de una forma fácil y sencilla como se debe acceder y operar cada uno de sus procesos, sobre todo en lo referente al proceso de control de los módulos Estación de Distribución y Control Iluminación.

Además el producto posee una interfaz gráfica amigable permitiendo de esta manera a que el usuario se familiarice con mayor facilidad al ambiente de trabajo.

MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA RED ZIGBEE PARA APLICACIONES INDUSTRIALES

Si usted desea enviarnos algún comentario acerca de este manual o desea ponerse en contacto para solicitar información puede comunicarse enviando un mensaje de correo electrónico a las siguientes direcciones:

sehl_063441@yahoo.es

maxneo_1985@hotmail.com

OBJETIVOS DEL DOCUMENTO

- El objetivo principal por la que se desarrollo este manual es brindar al usuario final toda la información acerca del funcionamiento de la Red ZigBee Industrial.
- Servir como una guía que permita al usuario manipular de forma correcta el Manual y no tenga inconvenientes.

REQUISITOS DEL SISTEMA

Hardware

Requisitos mínimos:

- Procesador Intel Pentium III Memoria
- RAM: 1 GB
- Espacio libre en disco: 1 GB
- Configuración colores del monitor: 24 bits

Requisitos recomendados:

- Procesador Intel Pentium IV
- Memoria RAM: superior a 2 GB

- Espacio libre en disco: 2 GB
- Configuración colores del monitor: 32 bits

Software

Los requisitos de software necesarios para la aplicación son: Sistemas operativos permitidos:

- Windows XP
- Windows 7

DESCRIPCIÓN GENERAL DE SISTEMA

Sistema de Gestión para una Red ZigBee Industrial, tiene como objetivo principal gestionar de forma centralizada dispositivos ZigBee y procesos industriales que conforman dicha Red.

Presentación Inicial

Este sistema contiene una interfaz inicial donde le muestra el nombre de la unidad educativa, la facultad, la escuela, El título del proyecto de investigación y los nombres de los proponentes.

Menú Principal

En esta interfaz le presenta alternativas de navegación como Estación de Distribución, Control de Iluminación, Datos generales de la red ZigBee y los Créditos.

Estación de Distribución

En esta Interfaz se puede iniciar y detener el proceso industrial, a demás le muestra gráficamente el estado del proceso.

Control de Iluminación

Al igual que la interfaz anterior usted puede activar o desactivar un indicador luminoso así como activar y desactivar una alarma.

Datos Generales de la Red ZigBee

En esta interfaz usted podrá identificar el estado de la red mediante los datos de todos los dispositivos de la Red.

Créditos

Esta es una interfaz donde se proporciona información de los derechos del autor de la construcción de la Red, entre otras.

INSTALACIÓN DEL SISTEMA

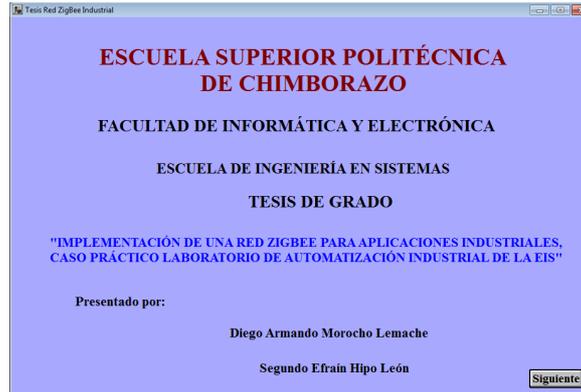
Para la ejecución y puesta en marcha el sistema seguir los siguientes pasos:

Instalar LookoutV6.2 en su PC.

Abra el proyecto Red ZigBee Industrial.

CONTROL DE LA RED MEDIANTE LOOKOUTV6.2

Interfaz inicial del sistema de gestión de la red ZigBee Industrial.



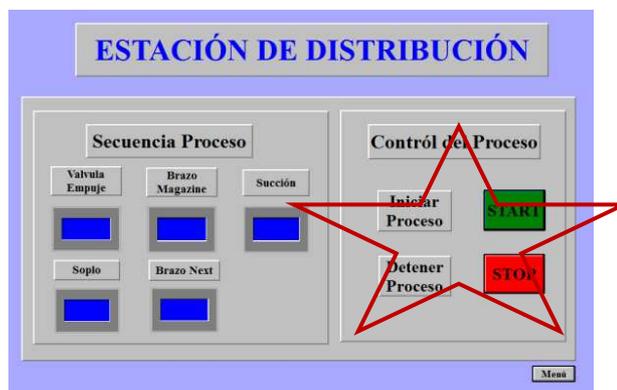
1. Interfaz Menú principal para la gestión de la Red.



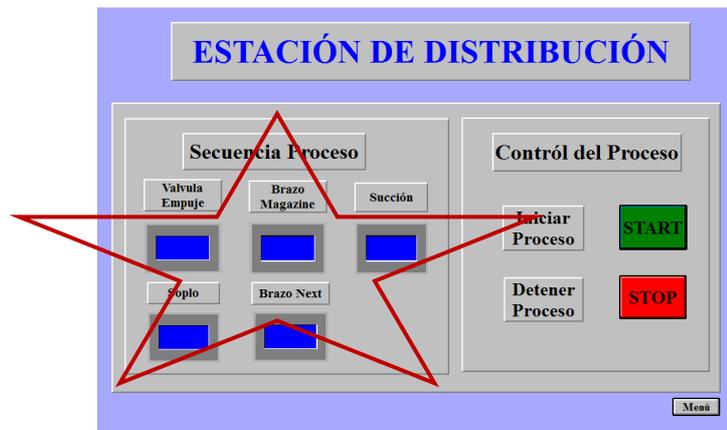
NAVEGACIÓN POR LOS MENÚS

Estación de Distribución

1. En esta interfaz usted podrá iniciar y detener el proceso industrial.



- De igual manera se visualiza el estado del proceso mediante un indicador.



Control de Iluminación

- Desde esta interfaz usted puede activar y desactivar una alarma, encender y apagar un indicador luminoso, que están conectados al relé 2 y relé 1 del ZigBee module with relay respectivamente.



Datos Generales de la Red ZigBee

- Esta interfaz le muestra dos datos correspondiente a la red, estos datos servirán para dar un diagnostico del funcionamiento de la misma.

DATOS GENERALES DE LA RED ZIGBEE

Gateway Modbus USB ZigBee (ZC-GW-USB-EM)

Tipo de dispositivo 112 = Gateway	112	Número de buenos Routers vecinos	2
Dirección del Gateway	2	Modo de trabajo (defecto = 21)	17
Señal de Transmisión (dB-100)	99	Periodo de Transmisión de mensajes (segundos)	20
Canal de Red (11 - 26)	18	Dirección mínima para dispositivos modbus (defecto = 1)	1
Número de dispositivos modbus conectados a través del Router Bridge	3	Dirección máxima para dispositivos modbus (defecto = 247)	247
Número de dispositivos finales hijos	0	Estado del Gateway en la Red (0 = desconectado, 1 = conectado a la red)	1
Número total de Routers presentes en la red	2	Estado de la Red (0 = red cerrada, 1 = red abierta)	0
Número total de Routers vecinos	2		

ZigBee module with relay (ZR-TIREL2-EM)

Tipo de dispositivo = 10	10
Dirección del dispositivo en la Red	8046
Tiempo de Transmisión	20
Modo de Regulación (0=off; 1=frio; 2=caliente; 3,4,5=manual)	4
Estado del Relé 1	0
Estado del Relé 2	0

Créditos

- La Interfaz Créditos contiene información de derechos de autor, el título del proyecto de investigación y los contactos para soporte técnico.

Proyecto de Investigación

"Implementación de Una Red ZigBee Para Aplicaciones Industriales, Caso Práctico Laboratorio de Automatización Industrial de la EIS"

"Los proponentes del presente proyecto de investigación son responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO."

Todos los derechos reservados

Autores:

Segundo Efraín Hipo León
082827259
sehl_063441@yahoo.es

Diego Armando Morocho Lemache
095861745
maxneo_03@hotmail.com

CONTENIDO DEL MANUAL DE USUARIO

La guía de Usuario esta en formato .xdoc y .pdf, y se encuentra en el mismo CD

COMO VER EL MANUAL DE USUARIO

Para Windows

- Cargue el CD-ROM en el equipo
- Haga clic en Documentación

Si no tiene Acrobat Reader, se mostrara un error

- Haga clic en Sí. Para ejecutar el manual

REQUISITOS DE UN SISTEMA

- Windows 98, Windows NT , Windows XP
- CD-ROM
- 20MB de espacio libre en el Disco Duro para ejecutar
- 16 MB de RAM disponible

SERVICIO AL CLIENTE

Para cualquier inquietud o petición acerca de este manual

Contáctanos a:

Cel.: 082827259

sehl_063441@yahoo.es

Efraín Hipo

Cel.: 095861745

maxneo_1985@hotmail.com

Diego Morocho

Anexo IV

Significado del coeficiente de correlación de Pearson

Significado del coeficiente de correlación de Pearson

Grados de libertad	Niveles de significación				
	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.988	0.997	0.999	1	1
2	0.9	0.96	0.98	0.99	0.999
3	0.805	0.878	0.934	0.959	0.991
4	0.729	0.811	0.882	0.917	0.974
5	0.669	0.754	0.833	0.874	0.951
6	0.622	0.707	0.789	0.834	0.925
7	0.582	0.666	0.75	0.798	0.898
8	0.549	0.632	0.716	0.765	0.872
9	0.521	0.602	0.685	0.735	0.847
10	0.497	0.576	0.658	0.708	0.823
11	0.476	0.553	0.634	0.684	0.801
12	0.458	0.532	0.612	0.661	0.78
13	0.441	0.514	0.592	0.641	0.76
14	0.426	0.497	0.574	0.623	0.742
15	0.412	0.482	0.558	0.606	0.725
16	0.4	0.468	0.542	0.59	0.708
17	0.389	0.456	0.528	0.575	0.693
18	0.378	0.444	0.516	0.561	0.679
19	0.369	0.433	0.503	0.549	0.665
20	0.36	0.423	0.492	0.537	0.652
25	0.323	0.381	0.445	0.487	0.597
30	0.296	0.349	0.409	0.449	0.554
35	0.275	0.325	0.381	0.418	0.519
40	0.257	0.304	0.358	0.393	0.49
45	0.243	0.288	0.338	0.372	0.465
50	0.231	0.273	0.322	0.354	0.443
60	0.211	0.25	0.295	0.325	0.408
70	0.195	0.232	0.274	0.302	0.38
80	0.183	0.217	0.256	0.283	0.357
90	0.173	0.205	0.242	0.267	0.337
100	0.164	0.195	0.23	0.254	0.321

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

1. CARRANZA LUJAN, Jorge Luis. Redes Inalámbricas. internet, líneas de transmisión, antenas, redes inalámbricas, bluetooth, diseño de redes inalámbricas, monitoreo, hardware inalámbrico. México D.F: Megabyte, 2008. 599 p.
2. DELGADO ORTIZ, Héctor H. Redes Inalámbricas. internet, líneas de transmisión, antenas, redes inalámbricas, bluetooth, diseño de redes inalámbricas, monitoreo, hardware inalámbrico. Lima-Perú: Macro, 2009. 447 p.
3. GARCIA SERRANO, Alberto. Redes Wi-Fi (guía práctica). Madrid: ANAYA MULTIMEDIA, 2008. 268 p.
4. GOMEZ LOPEZ, Julio. Guía de Campo Wi-Fi. páginas web, redes inalámbricas, tecnología inalámbrica, sistema de información, internet móvil, redes Wi-Fi. México D.F: Alfaomega, 2008. 199 p.
5. MILLER, Michael. Redes Inalámbricas. Madrid: ANAYA MULTIMEDIA, 2008. 245 p.

INTERNET

1. **A FONDO ZIGBEE - TODO EN DOMÓTICA DE FÁCIL INSTALACIÓN**
<http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>
(2010 -11 - 8)
2. **CATÁLOGOS DE PRODUCTOS ZIGBEE**
<http://www.4-noks.com/zb/downloads/ProductsCatalogue.pdf>
<http://www.4-noks.com/zb/downloads/ProductsRangeOverview.pdf>
(2010 -12 - 14)

3. COMUNICACIONES INDUSTRIALES

<http://materias.fi.uba.ar/6629/redes2byn.pdf>

http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6_Comunic_Ind/comunic_ind.htm

<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No4/RCI.html>

https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/com_industriales/Pages/comunicaciones_industriales.aspx

http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1567/ISAD_Tema6.pdf

<http://www.europe.cisco.com/web/LA/soluciones/manufactura/docs/ettftecarchesp.pdf>

(2010 -10 - 4)

4. CREAR UNA GUÍA DE REFERENCIA

<http://universoguia.com/guia-para-crear-una-red-hogarena/>

<http://guia.mercadolibre.com.mx/hacer-una-red-casera-22664-VGP>

http://www.winsamm.com/manuals/ws_espanol.pdf

(2010 -12 - 14)

5. DISEÑO DE LA RED ZIGBEE INDUSTRIAL

<http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/1238/4/T%2011107%20%20CAPITULO%202.pdf>

(2010 -11 - 8)

6. EL ESTÁNDAR INALÁMBRICO ZIGBE

<http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/815/4/T10110CAP2.pdf>

<http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>

http://www.nextfor.com/nextforweb/imagesuser/MN_CS03%20-%20Eficiencia%20Energ%C3%A9tica_esp0508.pdf

http://www.ZigBee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=5162

http://www.ZigBee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=5162

<http://www.eecs.berkeley.edu/~csinem/academic/publications/ZigBee.pdf>

http://sensornetworks.eecs.berkeley.edu/docs/ZigBee_2.ppt

http://www.y-dagio.com/public/committees/iec_tc100_ags/meetings/14/add/100ags_128.pdf

<http://bwrc.eecs.berkeley.edu/Seminars/Bahl-10.25.02/ZigBee.ppt>

<http://www.embedded.com/showArticle.jhtml?articleID=18902431>

(2010 -11 - 8)

7. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIALES

http://www.alumnos.usm.cl/~ignacio.morande/descargas/PROTOCOLOS_INDUSTRIALES.pdf

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mv?xid=562&rank=1>

<http://www.foro-industrial.com/foros/viewtopic.php?p=8627>

(2010 -10 - 4)

8. REDES DE COMUNICACION INDUSTRIAL

http://www.uv.es/rosado/sid/Capitulo3_rev0.pdf

<http://linux0.unsl.edu.ar/~rvilla/c3m10/tema13.pdf>

<http://www.smarting.com/cursos/RCI%20%20Redes%20decomunicaci%C3%B3n%20industrial.pdf>

(2010 -10 - 4)

9. SOLUCIONES ZIGBEE INDUSTRIALES ZIGBEE

<http://www.2embedcom.com/es/productos/soluciones-ZigBee-industriales.html>

(2010 -11 - 8)