



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

**“DISEÑO DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS
MEDIANTE LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS
PLATAFORMAS ARDUINO Y WASPMOTE BAJO EL
PROTOCOLO DE COMUNICACIONES ZIGBEE PARA EL
MONITOREO Y CONTROL DE LOS EMBALSES DE AGOYÁN Y
PISAYAMBO”.**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

Ingeniero en Sistemas Informáticos

PRESENTADO POR:

DIEGO VINICIO REYES MENA

**RIOBAMBA – ECUADOR
2014**

“Siempre sueña y apunta más alto de lo que
sabes que puedes lograr”.

William Faulkner

A Dios, por llenarme de bendiciones y guiarme en cada momento de mi vida y permitirme conseguir los triunfos anhelados.

Al Ing. Diego Ávila director de la tesis, al Ing. Ernesto Pérez miembro del tribunal de tesis, al Ing. Mauricio Caicedo gerente de la Unidad de Negocio CELEC - Hidroagoyán por abrirme las puertas para la realización del proyecto de investigación.

A la familia Pino Parra quienes me abrieron las puertas de su hogar y me hicieron sentir uno más de ellos, a mis familiares, amigos, conocidos y personas de afecto, que de una u otra manera me apoyaron para el cumplimiento de este objetivo.

A mi madre Yolanda Mena, quien ha sido el pilar de apoyo fundamental en el caminar de mi vida, por su arduo trabajo abnegado de ser madre y amiga, y ser mi fuente de inspiración.

A mi padre Antonio Reyes que aunque no se encuentre entre nosotros, sus buenos cimientos de sabiduría y ejemplo están bien sembrados en mi corazón.

A mi hermano José Luis, quien es mi amigo y compañero en los buenos y malos momentos y que con su ejemplo, consejo y apoyo incondicional durante mi vida estudiantil y cotidiana me ha sabido guiar por el camino y las sendas correctas hacia el alcance de nuestros objetivos.

A mis amigos, compañeros, maestros y familiares que me apoyaron de manera incondicional durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

FIRMAS RESPONSABLES Y NOTA

<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>	<u>FECHA</u>
Ing. Iván Ménes DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Jorge Huilca DIRECTOR DE ESCUELA INGENIERÍA EN SISTEMAS	_____	_____
Ing. Diego Ávila DIRECTOR DE TESIS	_____	_____
Ing. Ernesto Pérez MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____
DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN	_____	_____

NOTA DE TESIS ESCRITA: _____

Yo, Diego Vinicio Reyes Mena, soy el responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

.....

Diego Vinicio Reyes Mena
CI. 0603890625

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A/D	Analógico/Digital
API	Interfaz de programación de aplicaciones
AREF	Pin de referencia analógica
AT	Derivado de la palabra ATtention – lenguaje de comandos
BD	Base de Datos
Bits	Dígito binario
C/B	Costo/Beneficio
CELEC	Corporación Eléctrica del Ecuador
CM	Casa de máquinas
COM	Puerto serial
dBm	Decibelímetros
EEPROM	Memoria de solo lectura programable y borrada electrónicamente
EP	Empresa Pública
FO	Fibra óptica
FTDI	Future Technology Devices Internacional
GB	Gigabyte
GHz	Giga Hetz
GND	Ground (conexión a tierra)
GPIO	Pines de entrada y salida de propósito general
GPRS	General Packet Radio Service (Servicio General de Paquetes vía Radio)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
GSM	Global System for Movil comunicacion (Sistema Global para comunicaciones móviles)
HTML	Hypertext Markup Language (Lenguaje de etiquetado hipertexto)
I/O	Input/Output (Entradas/Salidas)
I2C	Bus de comunicaciones en serie
IDE	Integrated Development Envirinment (Entorno de Desarrollo Integrado)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
IR	Índice de rentabilidad
ISM	Industrial, Scientific & Medical
KB	Kilobyte
Kbps	Kilo bit por segundo
KOhm	Kilo Ohmios
LAN	Local Area Network (Red de area local)
LED	Light-Emitting Diode (Diodo electroluminiscente)
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
mA	Miliamperios
MAC	Media Access Control (Control de acceso al medio)
Mb	Megabytes

Mbps	Megabit por segundo
MHz	Megahertz
Mw	Megawatts (Megavatio)
Mw/h	Megavatio Hora
OTA	Programming Over the Air
PAN	Personal Area Network (Red de Área Personal)
PWM	Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso)
QoS	Calidad de servicio
RAM	Random Access Memory (Memoria de acceso aleatorio)
RF	Radio Frequency (Radiofrecuencia)
RSI	Red de Sensores Inalámbricos
RTC	Real Time Clock (Reloj de Tiempo Real)
Rx	Recepción de datos
SMS	Short Message Service (Servicio de mensajes cortos)
SRAM	Static Random Access Memory (Memoria estática de acceso aleatorio)
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TICs	Tecnologías de la Información y Comunicaciones
TIR	Tasa Interna de Retorno
TTL	Transistor-Transistor Logic (Lógica transistor-transistor)
Tx	Transmisión de datos
UART	Emisor-receptor asíncrono universal (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
UDP	User Datagram Protocol (Protocolo de datagramas del Usuario)
UPS	Uninterruptible Power System (Fuente de alimentación ininterrumpida)
USART	Universal Synchronous-Asynchronous Receiver-Transmitter (Emisor-transmisor síncrono-asíncrono universal)
USB	Universal Serial Bus
V	Voltio
VAN	Valor Actual Neto
VCC	Voltaje de Corriente Continua
VIN	Voltaje de entrada
WiFi	Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica)
WLAN	Wireless Local Area Network (Red Inalámbrica de Área Local)
WPAN	Wireless Personal Area Network (Red de área Personal)
WSN	Wireless Sensor Network (Red inalámbrica de sensores)
μA	Microamperio

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
FIRMAS RESPONSABLES Y NOTA	
RESPONSABILIDAD DEL AUTOR	
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
INTRODUCCIÓN	
CAPITULO I. MARCO REFERENCIAL	
1.1 ANTECEDENTES.....	22
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS.....	24
1.3 OBJETIVOS.....	30
1.3.1 Objetivo general.....	30
1.3.2 Objetivos específicos.....	30
1.4 HIPÓTESIS.....	31
CAPITULO II. REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS BAJO EL PROTOCOLO DE COMUNICACIONES ZIGBEE	
2.1 REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS.....	32
2.1.1 Definición.....	32
2.1.2 Características.....	33
2.1.3 Funcionamiento.....	35
2.1.4 Dispositivos y componentes.....	36
2.1.4.1 Nodo inalámbrico.....	36
2.1.4.2 Puerta de enlace.....	42
2.1.4.3 Estación base.....	42
2.1.5 Dispositivos y componentes para RSI en el mercado.....	42
2.1.6 Topologías.....	43
2.1.7 Aplicaciones.....	46
2.2 PROTOCOLO DE COMUNICACIONES ZIGBEE.....	48
2.2.1 Definición.....	48
2.2.2 Arquitectura.....	49
2.2.3 Características.....	51
2.2.4 Dispositivos y componentes Zigbee.....	52
2.2.5 Comunicación entre dispositivos.....	54
2.2.6 Seguridad.....	55
2.2.7 Zigbee en el mercado.....	56
2.2.8 Zigbee frente a otras tecnologías inalámbricas.....	58
2.3 PLATAFORMA ARDUINO.....	59
2.3.1 Descripción.....	59
2.3.2 Hardware.....	60
2.3.3 Shields.....	62

2.3.4 Módulo Arduino Mega 2560.....	63
2.3.4.1 Componentes y especificaciones.....	63
2.3.4.2 Diagrama de pines.....	64
2.3.4.3 Conversor A/D.....	65
2.3.4.4 Memoria.....	65
2.3.4.5 Características física y compatibilidades de shields.....	66
2.3.4.6 I/O.....	66
2.3.4.7 Comunicación.....	68
2.3.4.8 Alimentación.....	68
2.3.4.9 Protección contra sobretensiones en USB.....	70
2.3.5 Software y programación.....	70
2.3.6 Equipamiento Arduino-Zigbee.....	71
2.3.7 Análisis de la plataforma Arduino-Zigbee.....	72
2.3.8 Información complementaria.....	73
2.4 PLATAFORMA WASPMOTE.....	74
2.4.1 Descripción.....	74
2.4.2 Hardware.....	75
2.4.2.1 Componentes y especificaciones.....	76
2.4.2.2 Diagrama de bloques.....	77
2.4.2.3 Características eléctricas.....	78
2.4.2.4 I/O.....	79
2.4.2.5 Leds.....	81
2.4.3 Arquitectura y sistema.....	82
2.4.3.1 Timers.....	84
2.4.3.2 Interrupciones.....	85
2.4.3.3 Sistema energético.....	86
2.4.3.4 Sensores integrados.....	89
2.4.3.5 Sensores externos.....	89
2.4.3.6 Alimentación.....	90
2.4.4 Wasmote Gateway.....	90
2.4.5 Software y programación.....	92
2.4.6 Equipamiento Wasmote-Zigbee.....	93
2.4.7 Equipamiento Wasmote.....	94
2.4.8 Análisis de la plataforma Wasmote-Zigbee.....	97
2.4.9 Información complementaria.....	98
2.5 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.....	99
2.5.1 Enfoque.....	99
2.5.2 Proceso de evaluación.....	99
2.5.3 Descripción de los parámetros a evaluar.....	100
2.5.4 Niveles de evaluación.....	101
2.5.5 Parámetros de evaluación.....	102
CAPITULO III. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO PARA ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS PLATAFORMAS	
3.1 INTRODUCCIÓN.....	105
3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO.....	106
3.2.1 Descripción.....	106
3.2.2 Requerimientos.....	106
3.2.3 Componentes y funcionamiento.....	107

3.2.4	Diseño.....	108
3.2.4.1	Diseño de la RSI.....	108
3.2.4.2	Diseño de interfaces.....	109
3.2.4.3	Diseño de la base de datos.....	111
3.2.5	Implementación.....	114
3.2.5.1	Materiales y equipos.....	114
3.2.5.2	Implementación común de las plataformas Arduino y Waspnote... ..	115
3.2.5.2.1	Sistema de comunicación – módulos Xbee.....	116
3.2.5.2.2	Sistema de recepción-Gateway.....	124
3.2.5.2.3	Base de datos.....	125
3.2.5.2.4	Interfaces y aplicación.....	127
3.2.5.3	Implementación de la plataforma Arduino.....	132
3.2.5.4	Implementación de la plataforma Waspnote.....	136
3.2.6	Integración y pruebas.....	140
3.2.7	Observaciones de la implementación.....	141
3.2.8	Prototipo.....	142
3.3	EVALUACIÓN DE LAS PLATAFORMAS ARDUINO Y WASPMOTE.....	143
3.3.1	Hardware.....	143
3.3.2	Disponibilidad.....	144
3.3.3	Alcance.....	146
3.3.4	Consumo de energía.....	147
3.3.5	Procesamiento y transmisión de datos.....	148
3.3.6	Precios.....	149
3.3.7	Canales de distribución.....	151
3.3.8	Aplicación, componentes y accesorios.....	151
3.3.9	Soporte técnico e información.....	153
3.4	EVALUACIÓN.....	154
3.5	ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN.....	155
CAPITULO IV. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS Y REQUERIMIENTOS		
4.1	ANÁLISIS DE LA UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN.....	159
4.1.1	Descripción.....	159
4.1.2	Misión.....	161
4.1.3	Visión.....	161
4.1.4	Organigrama.....	161
4.1.5	Instalaciones.....	161
4.1.5.1	Oficinas administrativas.....	162
4.1.5.2	Central hidroeléctrica Pucará.....	162
4.1.5.3	Central hidroeléctrica Agoyán.....	163
4.1.5.4	Central hidroeléctrica San Francisco.....	164
4.1.5.5	Embalse de Agoyán.....	164
4.1.5.6	Embalse de Pisayambo.....	165
4.1.6	Ejecución de proyectos tecnológicos.....	167
4.2	ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIONES EXISTENTE.....	167
4.2.1	Alcance.....	167
4.2.2	Infraestructura.....	168
4.2.3	Esquema general de comunicaciones.....	169
4.2.4	Enlaces.....	172

4.2.5 Equipos de comunicaciones instalados.....	173
4.2.6 Direccionamiento IP.....	175
4.2.7 Tráfico de la red.....	175
4.2.8 Análisis de la red de comunicaciones.....	179
4.2.9 Conclusiones del análisis de la red de comunicaciones.....	183
4.3 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.....	184
4.3.1 Requerimiento general.....	184
4.3.2 Obtención de la información – Entrevista.....	184
4.3.3 Análisis de requerimientos.....	184
4.3.3.1 Definiciones.....	185
4.3.3.2 Actualidad del monitoreo de los embalses de Agoyán y Pisayambo...	185
4.3.3.3 Consideraciones y requerimientos.....	186
4.3.3.4 Requerimiento de monitoreo.....	189
4.3.4 Conclusiones del análisis.....	190
4.4 SELECCIÓN DE LA PLATAFORMA DE RSI.....	191
CAPITULO V. PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED DE SENSORES	
INALÁMBRICOS BAJO EL PROTOCOLO DE COMUNICACIONES	
ZIGBEE	
5.1 INTRODUCCIÓN.....	195
5.2 REQUERIMIENTOS.....	196
5.3 DISEÑO DE LA RED.....	198
5.3.1 Descripción.....	198
5.3.2 Red de transporte.....	199
5.3.2.1 Tecnología utilizada.....	199
5.3.2.2 Diagrama de interconexión.....	199
5.3.3 Red de sensores inalámbricos.....	201
5.3.3.1 Selección de la plataforma.....	201
5.3.3.2 Topología.....	201
5.3.3.3 Puntos de medición.....	201
5.3.3.4 Esquemas de conectividad.....	202
5.3.3.5 Diseño de nodos.....	205
5.3.3.5.1 Gateway.....	205
5.3.3.5.2 Nodos.....	205
5.3.3.6 Direccionamiento IP.....	208
5.3.3.7 Medición sensorial.....	208
5.3.3.8 Equipos y accesorios.....	209
5.3.4 Diseño de aplicaciones.....	211
5.3.4.1 Aplicaciones.....	211
5.3.4.2 Base de datos.....	212
5.3.4.3 Interfaces.....	215
5.3.5 Servidor.....	218
5.4 PROPUESTA ECONÓMICA.....	218
5.5 ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO.....	220
5.5.1 Beneficios y costos de la implementación.....	220
5.5.2 Flujo de caja.....	221
5.5.3 Índices financieros.....	222
5.5.3.1 Valor actual neto (VAN).....	222
5.5.3.2 Tasa interna de retorno.....	222

5.5.3.3 Índice de rentabilidad.....	223
5.5.3.4 Periodo de recuperación de la inversión.....	223
5.5.3.5 Relación costo – beneficio (C/B)	224
5.5.4 Resultado del análisis	224
5.6 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN.....	224
5.7 FOTOGRAFÍAS VARIAS.....	225
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1 Conclusiones.....	227
6.2 Recomendaciones.....	230

BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN

ABSTRACT

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA II.I.	Tecnologías inalámbricas
TABLA II.II.	Plataformas existentes en el mercado de las RSI
TABLA II.III.	Simbología de componentes de las topologías
TABLA II.IV.	Características de los módulos Zigbee
TABLA II.V.	Comparativa entre tecnologías inalámbricas
TABLA II.VI.	Módulos Arduino
TABLA II.VII.	Shields Arduino
TABLA II.VIII.	Especificaciones del módulo Arduino Mega 2560
TABLA II.IX.	Características de las memorias del módulo Arduino Mega 2560
TABLA II.X.	Funciones especiales de los pines del módulo Arduino Mega 2560
TABLA II.XI.	Especificaciones del módulo Waspote
TABLA II.XII.	Características eléctricas del módulo Waspote
TABLA II.XIII.	Leds del módulo Waspote
TABLA II.XIV.	Interrupciones del módulo Waspote
TABLA II.XV.	Modos energéticos del módulo Waspote
TABLA II.XVI.	Pines de alimentación del módulo Waspote
TABLA II.XVII.	Leds y pulsadores del Gateway Waspote
TABLA II.XVIII.	Placas sensoriales Waspote
TABLA II.XIX.	Niveles de evaluación
TABLA II.XX.	Parámetros de evaluación
TABLA III.XXI.	Descripción de interfaces
TABLA III.XXII.	Descripción de tablas de la BD
TABLA III.XXIII.	Descripción de campos de la BD
TABLA III.XXIV.	Materiales y equipos para la implementación del prototipo
TABLA III.XXV.	Parámetros de conexión XCTU
TABLA III.XXVI.	Funcionalidades de los módulos XBee
TABLA III.XXVII.	Direccionamiento de los módulos XBee
TABLA III.XXVIII.	Componentes del Gateway
TABLA III.XXIX.	Descripción de campos de la BD en PostgreSQL
TABLA III.XXX.	Clases de la aplicación JAVA
TABLA III.XXXI.	Detalle de las páginas de la aplicación web
TABLA III.XXXII.	Comparación del hardware Arduino y Waspote
TABLA III.XXXIII.	Evaluación del hardware Arduino y Waspote
TABLA III.XXXIV.	Medición de la disponibilidad
TABLA III.XXXV.	Evaluación de la disponibilidad
TABLA III.XXXVI.	Medición del alcance
TABLA III.XXXVII.	Evaluación del alcance
TABLA III.XXXVIII.	Medición del consumo de energía
TABLA III.XXXIX.	Evaluación del consumo de energía
TABLA III.XL.	Medición de procesamiento y transmisión
TABLA III.XLI.	Evaluación del procesamiento y transmisión
TABLA III.XLII.	Especificación de precios
TABLA III.XLIII.	Evaluación de precios
TABLA III.XLIV.	Especificación de canales de distribución
TABLA III.XLV.	Evaluación de canales de distribución

TABLA III.XLVI. Especificación de aplicación, componentes y accesorios
TABLA III.XLVII. Evaluación de aplicación, componentes y accesorios
TABLA III.XLVIII. Especificación de soporte técnico e información
TABLA III.XLIX. Evaluación de soporte técnico e información
TABLA III.L. Evaluación general de las plataformas
TABLA IV.LI. Infraestructura de comunicaciones
TABLA IV.LII. Enlace de comunicaciones
TABLA IV.LIII. Equipos de comunicaciones
TABLA IV.LIV. Direccionamiento IP
TABLA IV.LV. Medición de los parámetros de tráfico de red
TABLA IV.LVI. Análisis de la red de comunicación
TABLA IV.LVII. Requerimientos de monitoreo
TABLA IV.LVIII. Selección de la plataforma de la RSI
TABLA V.LIX. Requerimientos de medición
TABLA V.LX. Ubicación de Gateways
TABLA V.LXI. Ubicación de puntos de medición
TABLA V.LXII. Gateways
TABLA V.LXIII. Direccionamiento IP de la RSI
TABLA V.LXIV. Equipos de medición sensorial
TABLA V.LXV. Equipos y accesorios de la RSI
TABLA V.LXVI. Tecnología para el desarrollo de las aplicaciones de la RSI
TABLA V.LXVII. Detalle de las aplicaciones propuestas
TABLA V.LXVIII. Descripción de tablas y campos de la BD propuesta
TABLA V.LXIX. Detalle de interfaces propuestas
TABLA V.LXX. Características del servidor
TABLA V.LXXI. Propuesta económica
TABLA V.LXXII. Beneficios
TABLA V.LXXIII. Flujo de caja
TABLA V.LXXIV. Valor actual neto
TABLA V.LXXV. Tasa interna de retorno
TABLA V.LXXVI. Periodo de recuperación de la inversión
TABLA V.LXXVII. Plan de implementación

ÍNDICE DE FIGURAS

- FIGURA II.1.** Componentes de un nodo inalámbrico
- FIGURA II.2.** Alcance y tasa de transferencia de las tecnologías inalámbricas
- FIGURA II.3.** Topología estrella
- FIGURA II.4.** Topología malla
- FIGURA II.5.** Topología híbrida: estrella-malla
- FIGURA II.6.** Arquitectura Zigbee
- FIGURA II.7.** Módulos Zigbee
- FIGURA II.8.** Componentes principales del módulo Arduino Mega 2560
- FIGURA II.9.** Nodo Arduino Zigbee
- FIGURA II.10.** Componentes principales del módulo Wasmote
- FIGURA II.11.** Diagrama de transmisión de datos del módulo Wasmote
- FIGURA II.12.** Diagrama de transmisión de energía de módulo Wasmote
- FIGURA II.13.** Estructura de los puertos I/O del módulo Wasmote
- FIGURA II.14.** Leds del módulo Wasmote
- FIGURA II.15.** Modo sleep del módulo Wasmote
- FIGURA II.16.** Modo deepsleep del módulo Wasmote
- FIGURA II.17.** Modo hibernate del módulo Wasmote
- FIGURA II.18.** Gateway Wasmote
- FIGURA II.19.** Nodo Wasmote Zigbee
- FIGURA III.20.** Diseño del prototipo de la RSI
- FIGURA III.21.** Diseño de las interfaces del prototipo
- FIGURA III.22.** Diseño lógico de la BD
- FIGURA III.23.** Diseño físico de la BD
- FIGURA III.24.** Conexión del módulo Xbee ZB Pro
- FIGURA III.25.** Interfaz del programa XCTU
- FIGURA III.26.** Parámetros de conexión XCTU
- FIGURA III.27.** Opciones para la configuración del módulo XBee
- FIGURA III.28.** Configuración del firmware del módulo coordinador Xbee
- FIGURA III.29.** Configuración de parámetros del módulo coordinador XBee
- FIGURA III.30.** Componentes del Gateway
- FIGURA III.31.** Implementación de la BD
- FIGURA III.32.** Interfaces gráficas de la aplicación web
- FIGURA III.33.** Nodo de la plataforma Arduino
- FIGURA III.34.** Interfaz del IDE Arduino 1.0.5
- FIGURA III.35.** Código fuente del nodo Arduino
- FIGURA III.36.** Nodo de la plataforma Wasmote
- FIGURA III.37.** Interfaz del IDE Wasmote V.03
- FIGURA III.38.** Código fuente del nodo Wasmote
- FIGURA III.39.** Pruebas de los prototipos
- FIGURA III.40.** Fotografías del prototipo
- FIGURA III.41.** Medición de la disponibilidad
- FIGURA III.42.** Medición del alcance
- FIGURA III.43.** Medición del consumo de energía
- FIGURA III.44.** Medición de procesamiento y transmisión
- FIGURA III.45.** Especificación de precios

FIGURA III.46. Evaluación general de rendimiento
FIGURA III.47. Evaluación general
FIGURA IV.48. Oficinas administrativas
FIGURA IV.49. Central hidroeléctrica Pucará
FIGURA IV.50. Central hidroeléctrica Agoyán
FIGURA IV.51. Central hidroeléctrica San Francisco
FIGURA IV.52. Embalse de Agoyán
FIGURA IV.53. Embalse de Pisayambo
FIGURA IV.54. Fotografías de las instalaciones
FIGURA IV.55. Esquema general de comunicaciones
FIGURA IV.56. Esquema general de conectividad de comunicaciones
FIGURA IV.57. Ejemplo de tráfico capturado
FIGURA IV.58. Promedio porcentaje de paquetes horas pico
FIGURA IV.59. Promedio porcentaje de paquetes horas de tráfico normal
FIGURA IV.60. Mediciones del tráfico de la red
FIGURA V.61. Esquema general de comunicaciones
FIGURA V.62. Plataforma Waspnote
FIGURA V.63. Esquema general de comunicaciones de la RSI
FIGURA V.64. Esquema general de conectividad de comunicaciones de la RSI
FIGURA V.65. Diseño general del nodo
FIGURA V.66. Diseño del case de los nodos
FIGURA V.67. Diseño físico de los nodos
FIGURA V.68. Diseño lógico de la BD propuesta
FIGURA V.69. Diseño físico de la BD
FIGURA V.70. Diseño de las interfaces principales propuestas
FIGURA V.71. Fotografías de equipos instalados

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Diagrama electrónico del módulo Arduino Mega 2560

ANEXO B. Código fuente de las clases java

ANEXO C. Organigrama – CELEC EP Unidad de Negocio Hydroagoyán

ANEXO D. Ubicación geográfica de la infraestructura de la Unidad de Negocio Hydroagoyán

ANEXO E. Formato de la entrevista

ANEXO F. Definiciones utilizadas en el monitoreo de embalses

ANEXO G. Ubicación física de los nodos de la RSI

ANEXO H. Cálculo del precio de las aplicaciones

ANEXO I. Cálculo del tamaño de la Base de Datos

ANEXO J. Modelo de las interfaces propuestas

ANEXO K. Cronograma de implementación de la RSI

INTRODUCCIÓN

Hoy en día las redes de comunicación son de gran importancia en nuestra vida, ya sea en el ámbito estudiantil, social y más aún en el ámbito laboral, debido a un sin número de prestaciones y servicios que las mismas nos brindan, de una manera muy rápida y eficaz, gracias a que con ellas es posible comunicarse e intercambiar información en cuestión de segundos, hacia y desde cualquier lugar del mundo.

Dentro de la amplia gama de las redes de comunicación, se encuentra surgiendo de una manera silenciosa que día a día va en constante aumento, las denominadas Redes de Sensores Inalámbricas (RSI), las mismas que están compuestas por nodos sensores que se comunican por medio de un radio receptor/transmisor a una estación base para posteriormente presentar la información de una manera eficiente, además cuenta con un sistema de alimentación por medio de baterías, lo que le permite ser autónoma y gestionar eficientemente la energía para su completa operabilidad, incluso en condiciones adversas y exigentes donde el suministro de energía es escaso.

En la actualidad se está proliferando de manera asombrosa las redes de sensores inalámbricos, para aplicaciones en varios ámbitos domésticos e industriales. Dentro del mercado de las redes de sensores inalámbricos, existen varias empresas que comercializan productos y servicios con diferentes tecnologías para el desarrollo de las mismas, de las cuales este proyecto investigativo se centrará en el análisis y estudio de las plataformas que permiten la construcción de RSI como son: Arduino y Waspnote.

Arduino es una plataforma open hardware que permite el desarrollo y construcción de RSI, de una manera rápida y efectiva, utilizada inicialmente para aplicaciones de pequeña envergadura y actualmente pensada en aplicaciones grandes por su variedad de prestaciones que ofrece la plataforma, por otra lado Waspote, es una plataforma open hardware creada por la empresa española Libelium, la misma que en poco tiempo ha evolucionado con sus productos con el fin de convertirlos en líderes en el mercado de aplicaciones grandes dentro de las RSI.

Por otro lado, la Unidad de Negocio CELEC – Hidroagoyán, perteneciente a la Corporación Eléctrica del Ecuador, es una empresa estatal que se encarga de la generación y de proveer el suministro eléctrico para todos los ecuatorianos, interesados en mejorar el monitoreo y control de sus recursos, en especial del monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo, donde las condiciones tanto de recurso humano, ambientales y físicas dificultan su completo y exacto monitoreo y control, es por eso que se ve la necesidad de utilizar tecnología que ayude a contrarrestar estos inconvenientes y lograr un completo monitoreo y control de los diferentes variables que afectan al normal funcionamiento y rendimiento de sus actividades diarias.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo elaborar una propuesta para el diseño de la red de sensores inalámbricos mediante la evaluación del desempeño de las plataformas Arduino y Waspote, bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee, que permita el monitorear y controlar los embalses de Agoyán y Pisayambo de la Unidad de Negocio Hidroagoyán de CELEC EP.

Para lograr el objetivo propuesto, el proyecto se ha dividido en las siguientes fases:

El Capítulo 1, presenta el planteamiento del problema en el que se define los antecedentes, justificación, objetivos e hipótesis a cumplirse y verificarse en el proceso de investigación.

El Capítulo 2, presenta el marco teórico, en el que se estudian las redes de sensores inalámbricos, protocolo de comunicaciones Zigbee, plataformas Arduino y Waspote, y se definen los parámetros de evaluación del caso de estudio.

El Capítulo 3, presenta la implementación del prototipo, conjuntamente con el análisis y evaluación de las plataformas Arduino y Waspote.

El Capítulo 4, presenta el análisis de requerimientos de la Unidad de Negocio Hidroagoyán de CELEC EP, así como de la infraestructura de comunicaciones existente.

El Capítulo 5, presenta la propuesta de diseño de la red de sensores inalámbricos para la Unidad de Negocio Hidroagoyán de CELEC EP, en base a los análisis realizados en el capítulo 2 y 3.

Finalmente, en el Capítulo 6, se presentan las conclusiones y recomendaciones del proceso investigativo.

CAPÍTULO I.

MARCO REFERENCIAL

1.1. ANTECEDENTES

La Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP es una compañía estatal encargada de generar y de abastecer de energía eléctrica al país y se encuentra constituida a lo largo y ancho del territorio ecuatoriano por Unidades de Negocio que se encargan de la gestión y administración de las Centrales Hidroeléctricas y Térmicas existentes, es así que en la Región Central del Ecuador la Unidad de Negocio Hidroagoyán es la encargada de la generación, operación y mantenimiento de las Centrales Hidroeléctricas Pucará, Agoyán y San Francisco. [14].

Uno de los componentes más importantes de las Centrales de Generación Hidroeléctrica son los embalses, cuya funcionalidad es la de retener grandes cantidades de la materia prima utilizada para la generación de energía eléctrica que es el agua. Hidroagoyán administra y opera los embalses de Agoyán y Pisayambo, los mismos que en la actualidad

son monitoreados y controlados manualmente careciendo de sistemas automatizados que permitan llevar un mejor control del monitoreo del entorno de los embalses.

En las últimas décadas hemos asistido a un explosivo crecimiento de las redes de computadores y en concreto de las comunicaciones inalámbricas, propiciado por los continuos avances tecnológicos. Así, han aparecido circuitos electrónicos cada vez más pequeños, potentes y de menor costo, permitiendo también en esta línea, importantes avances en el campo de los transductores. Todo ello permite el desarrollo de nuevos dispositivos para la detección y medida de cualquier magnitud de forma sencilla y con gran precisión.

Estos factores han permitido el despegue del campo de investigación de las Redes de Sensores Inalámbricas (RSI), conocidas en inglés como *Wireless Sensor Network* (WSN), que han sido identificadas como una de las tecnologías más prometedoras por diversos analistas tecnológicos.

Una red de sensores inalámbrica está formada por nodos, los cuales consta de un dispositivo con micro controlador, sensores y transmisor/receptor, y forman una red con muchos otros nodos, también llamados motas o sensores. Por otra parte, un sensor es capaz de procesar una limitada cantidad de datos, pero cuando se coordina la información entre un importante número de nodos, éstos tienen la habilidad de medir un medio físico dado, con gran detalle. [37].

Existen varias plataformas de redes de sensores inalámbricas, es así que Arduino y Wasmote son plataformas de redes de sensores inalámbricos open hardware diseñadas para desarrolladores y para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. En la actualidad, dichas plataformas se encuentran en continuo crecimiento y día a día ganan gran aceptación en el mercado debido a la cantidad de aplicaciones que pueden ser implementadas aprovechando al máximo las bondades y beneficios que estas ofrecen, razón por la cual tienen gran proyección para el futuro.

Basado en los antecedentes expuestos, y considerando que Arduino y Wasmote son plataformas compatibles y que se encuentran en crecimiento y al no encontrar información en Internet sobre investigaciones realizadas referentes al análisis y evaluación del desempeño de dichas plataformas, se plantea el desarrollo del proyecto de investigación titulado: “Diseño de la red de sensores inalámbricos mediante la evaluación del desempeño de las plataformas Arduino y Wasmote bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee para el monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo”.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

Siendo la energía eléctrica el motor y eje fundamental del desarrollo del país y coadyuvante fundamental del mejoramiento de la calidad de vida del ser humano y connotados que la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP es la empresa encargada de generar y proveer del suministro eléctrico para todos los Ecuatorianos, surge la necesidad de promover la implementación de soluciones tecnológicas en los diferentes

áreas del sector que permitan mejorar el monitoreo y control de los recursos e infraestructuras.

Es así que, desde los inicios de la operación de las Centrales Hidroeléctricas, el monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo ha sido realizado manualmente por el personal de Operación, el mismo que toma los datos básicos del nivel del embalse y caudal e informa vía radio al centro de control de las centrales para que esta sea registrada, este proceso es realizado aproximadamente cada hora en el embalse de Agoyán y dos veces al día en Pisayambo. El hecho de manejar el monitoreo y control de los embalses de una manera manual a más de causar pérdidas de tiempo y el registro erróneo de datos, ha ocasionado en muchas ocasiones realizar paralizaciones no programadas en la generación de energía eléctrica, lo cual implica grandes pérdidas económicas para el país.

Al vivir en un mundo industrializado donde la tecnología es el punto de partida para toda institución que requiere garantizar eficiencia y alta disponibilidad en la operación de sus sistemas, es necesario la implementación de soluciones tecnológicas que faciliten la gestión, monitoreo, control y la toma de decisiones ante eventos críticos. Por tal razón, Hidroagoyán se encuentra en busca de una solución tecnológica que permita optimizar los recursos económicos y técnicos de la empresa para monitorear y controlar los embalses, los mismos que por su ubicación geográfica y requerimientos para monitorear se necesita de la utilización de una tecnología que se adapte a dichos requerimientos, es así que se plantea a la tecnología de redes de sensores inalámbricas como una solución que permita monitorear y controlar los embalses.

Las redes han revolucionado la forma en la que las personas y las organizaciones intercambian información y coordinan sus actividades. En la actualidad, estamos siendo testigos del desarrollo de una nueva tecnología para permitir la observación y el control del mundo físico. Los últimos avances tecnológicos han hecho realidad el desarrollo de unos mecanismos distribuidos, pequeños, baratos y de bajo consumo que además son capaces de procesar información localmente y de comunicarse de forma inalámbrica. Es así que la integración de micro sensores y comunicaciones inalámbricas dan nacimiento a las redes de sensores inalámbricas.

Las redes de sensores inalámbricas es un concepto relativamente nuevo en adquisición y tratamiento de datos con múltiples aplicaciones en distintos campos tales como sistemas de automoción, aplicaciones industriales, aviónica, entornos inteligentes, identificación de productos, domótica y seguridad, entornos militares, control de consumo energético, estudio de invernaderos, monitorización del medio ambiente, y un sin fin de nuevas aplicaciones.

La principal innovación de esta tecnología consiste en sustituir sensores de elevada complejidad (caros y limitados en número), además esta clase de redes se caracterizan por su facilidad de despliegue y por ser auto configurables, pudiendo convertirse en todo momento en emisor, receptor y ofrecer servicios de encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores locales de cada nodo. Otra de sus características es su gestión eficiente de la energía, que les permite obtener una alta tasa de autonomía que las hacen plenamente operativas. [15].

Arduino y Wasmote son plataformas compatibles de redes de sensores inalámbricos open hardware lo que implica que su diseño como su distribución es libre, es decir, que pueden utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia.

Arduino ha sido concebida como una plataforma para la creación de aplicaciones basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar, en sus inicios fue creado para artistas, diseñadores, aficionados y cualquier persona interesado en crear entornos u objetos interactivos para aprender a usar electrónica y con la intención de crear proyectos caseros y que son utilizados por escuelas, colegios, universidades e instituciones para el desarrollo a pequeña escala de redes o robots pero en la actualidad con al avance tecnológico y el aparecimiento de nuevos componentes que se integran a la tecnología día a día gana campo en la solución de aplicaciones industriales. [8].

Wasmote, por otro lado, es una plataforma basada en Arduino que fue concebida con la idea de ser integradora y diseñada para trabajar con equipamiento de larga durabilidad destinados a ser desplegados en la solución de problemas del mundo real basado en hardware altamente eficiente y una plataforma de desarrollo de rápido aprendizaje con la finalidad de proveer a empresas especializadas en diferentes sectores para que pueden aportar su experiencia y conocimiento y crear productos o proyectos altamente competitivos y especializados. [47].

Arduino y Wasmote, al ser open hardware, son plataformas orientadas para desarrolladores razón por la cual estas dos tecnologías han sido diseñadas para que

utilicen el mismo entorno de desarrollo, es decir que el código que se desarrolla para Arduino puede ser utilizado por Waspote mediante la configuración y ajuste de ciertos componentes. Las dos plataformas se encuentran diseñadas para trabajar con diferentes tecnologías de comunicaciones, es así que tiene la capacidad de trabajar con diferentes protocolos de comunicación tales como: 802.15.4, ZigBee, WiFi, Bluetooth, 3G/GPRS.

Zigbee es un conjunto de especificaciones basadas en el estándar IEEE 802.15.4 que define una serie de protocolos de comunicación a una velocidad de transmisión baja y que en la actualidad es el principal mecanismo de comunicación para las redes de sensores inalámbricas debido a que se encuentra orientado a aplicaciones cuyos requerimientos principales son: bajas tasas de transmisión, bajo costo, larga duración de la batería, muy baja complejidad y que opera en una banda no licenciada, ha convertido a Zigbee en una tecnología de expansión debido a su amplio creciente y uso extremadamente flexible. [18].

El constante desarrollo de la tecnología Zigbee para ser integrada con las tecnologías de redes de sensores autónomos que permita desarrollar soluciones económicas, con capacidades de funcionamiento en tiempo real y con la capacidad de ofrecer soluciones en escenarios de la vida real, ha puesto a la tecnología de redes de sensores inalámbricas open hardware en el punto de mira de muchos estudiantes, profesionales, investigadores y empresas que requieren aprovechar al máximo el desarrollo de la tecnología, razón por la cual se ha convertido en un tema muy activo de consulta y ha promovido al desarrollo de la presente investigación.

Como se mencionó, la plataforma Wasmote es basada en Arduino y desarrollada para alcanzar un mayor rendimiento. Según se ha investigado en Internet, no se han encontrado estudios orientados a medir y evaluar con hardware real el desempeño de la plataforma Arduino con Wasmote, que permitan conocer de una manera clara las diferencias, rendimiento, desempeño y alcances de las dos plataformas.

Por lo que, el presente proyecto pretende dar a conocer el estudio sobre la tecnología de redes de sensores inalámbricos basados en las plataformas Arduino y Wasmote bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee. Así como realizar el análisis y evaluación del desempeño de las plataformas de una manera real mediante el diseño e implementación de un prototipo que permita conocer el funcionamiento, configuración y programación para medir la capacidad, alcance, rendimiento y madurez de las plataformas con el objetivo de que los resultados obtenidos puedan ser utilizados como marco de referencia por estudiantes, empresas, administradores de tecnologías de la información que requieran implementar las prestaciones y beneficios de las plataformas en futuros proyectos.

Adicionalmente, para brindar a la Unidad de Negocio Hidroagoyán una herramienta tecnológica para el monitoreo y control de los embalses, se realizará el análisis de la infraestructura de telecomunicaciones así como la especificación de requerimientos y de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio, análisis y evaluación de desempeño de las plataformas Arduino y Wasmote se elaborará una propuesta de diseño de la red de monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo aplicando la tecnología de

redes de sensores inalámbricas bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee orientado a aprovechar al máximo los recursos técnicos y económicos de la empresa.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- ✓ Elaborar una propuesta de diseño de la red de sensores inalámbricos mediante la evaluación de desempeño de las plataformas Arduino y Waspote bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee para el monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo de CELEC EP.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Estudiar y establecer los parámetros de evaluación de rendimiento para las plataformas de redes de sensores inalámbricas Open Hardware Arduino y Waspote bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee.
- ✓ Diseñar un prototipo de las redes de sensores inalámbricas basadas en las plataformas Arduino y Waspote bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee que permita analizar y evaluar el desempeño de las plataformas.
- ✓ Analizar la infraestructura de comunicaciones de CELEC EP y definir los requerimientos para el monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo.

- ✓ Elaborar una propuesta de diseño de la red de sensores inalámbricos para el monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo basado en la tecnología de redes de sensores inalámbricos bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee de acuerdo al análisis de las plataformas estudiadas.

1.4. HIPÓTESIS

La plataforma Arduino bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee es la más adecuada para diseñar la red de sensores inalámbricos para el monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo.

CAPÍTULO II.

REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS BAJO EL PROTOCOLO DE COMUNICACIONES ZIGBEE

2.1 REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS

2.1.1 Definición

Las redes de sensores inalámbricas (RSI), conocidas también por sus siglas en inglés como WSN - Wireless Sensor Network, son un conjunto de dispositivos con capacidad de tratar información procedente de sensores, que establecen una comunicación sin cables interconectados entre sí a través de una red inalámbrica y a su vez conectados a un sistema central en el que se recopilará la información recogida por cada uno de los sensores, con el fin de llevar a cabo un objetivo común. [18] [46].

2.1.2 Características

Las redes de sensores inalámbricas tienen características que las hacen cada vez más atractivas desde el punto de vista industrial: bajo coste, bajo consumo, fácil despliegue, escalabilidad, etc., es por eso que se detalla a continuación las siguientes características.

- ✓ **Gestión de recursos y energía:** Los sensores son dispositivos miniaturizados con limitaciones, tanto de procesamiento como de energía. El entorno de despliegue puede a su vez llevarlos a sitios inaccesibles, donde en la mayoría de los casos dependen únicamente de su capacidad de comunicación. En base a estas restricciones, las tres operaciones básicas de este tipo de dispositivos son: la sensorización, el procesamiento de los datos y la comunicación, deben realizarse y planificarse con la intención de no malgastar recursos innecesariamente, ya que ello puede repercutir negativamente en la vida y operación de la red.

- ✓ **Escalabilidad, movilidad y topología de red dinámica:** El entorno altamente dinámico donde operan las redes de sensores necesita de mecanismos robustos de funcionamiento tolerantes a fallos. A su vez, los propios sensores necesitarán autoconfigurarse y automantenerse para adaptarse a los cambios en la red.

- ✓ **Heterogeneidad:** La multitud de dispositivos diferentes obliga a unificar de alguna manera las operaciones más utilizadas, como son la configuración, la ejecución y sobre todo la comunicación. Las aplicaciones o plataformas tienen que ser capaces de abstraer las particularidades del hardware en funciones abstractas de alto nivel.

- ✓ **Organización dinámica de la red:** Muchos de los recursos con los que se cuenta en las redes de sensores son dinámicos (la energía, el ancho de banda, capacidad de procesamiento, número de nodos). La organización de dichos elementos es una parte esencial de la propia red. Con este objetivo tiene que existir un mecanismo de descubrimiento que permita saber en todo momento cómo está la red y quiénes están accesibles.

- ✓ **Integración en el mundo físico:** Gran parte de los sistemas que se despliegan con redes de sensores están basados en escenarios donde el tiempo y el espacio (la localización) son fundamentales para el sistema. Es por ello que los servicios que proporcionen las plataformas tienen que soportar las características de tiempo real que demandan las aplicaciones.

- ✓ **Conocimiento de las aplicaciones:** Otro de los aspectos a considerar es el grado en que las aplicaciones van a conocer las características de la red de sensores inalámbricas. En el mejor de los casos, la abstracción total, serán necesarios mecanismos de mapeo, las necesidades de comunicación de las aplicaciones y los parámetros de red necesarios para conseguirlas.

- ✓ **Agregación de datos:** El despliegue de multitud de sensores con características similares puede provocar la existencia de datos redundantes en ciertas localizaciones. La gestión y agregación de estos datos puede ahorrar energía y recursos, por lo que pueden ser necesarios nuevos enfoques de comunicación centrados en los datos.

- ✓ **Calidad de servicio:** La calidad de servicio es un término muy amplio que puede tener diferentes interpretaciones. En lo referente a las redes de sensores inalámbricas, son importantes dos ámbitos, el de aplicación y el de red. El de aplicación tendrá en cuenta las necesidades de la aplicación en cuanto a medidas de los nodos, el despliegue o los nodos activos, entre otros. El ámbito de red se centrará en cómo cumplir las necesidades de las aplicaciones, gestionando el ancho de banda y la energía.

- ✓ **Seguridad:** En muchas ocasiones la información con la que tratan los sensores puede ser sensible para el usuario. Así mismo, las condiciones de despliegue y el uso de tecnologías inalámbricas para las comunicaciones los hacen más vulnerables a los ataques malintencionados.

2.1.3 Funcionamiento

Las redes de sensores inalámbricos están formadas por un conjunto de pequeños dispositivos denominados nodos sensores, con capacidad limitada de cómputo y comunicación, cuyo tiempo de vida depende de una batería adjunta al dispositivo. El tiempo de vida de la red de sensores inalámbricos dependerá por tanto del tiempo de vida de la batería de sus nodos. Estos dispositivos se encuentran dispersos de manera ad-hoc en una determinada área a monitorizar.

Típicamente, el modelo seguido por las aplicaciones es el siguiente: realizar una serie de mediciones sobre el medio, transformar dicha información en digital en el propio nodo y

transmitirla fuera de la red de sensores inalámbricos vía un elemento gateway a una estación base, donde la información pueda ser almacenada y tratada temporalmente para acabar finalmente en un servidor con mayor capacidad que permita componer un histórico o realizar un análisis de datos.

2.1.4 Dispositivos y componentes

En una red de sensores inalámbricos, podemos encontrar:

- ✓ Nodos inalámbricos
- ✓ Puertas de enlace
- ✓ Estaciones base

2.1.4.1 Nodo inalámbrico

Los nodos inalámbricos son llamados también motas, del inglés “mote”, por su ligereza y reducido tamaño. Son dispositivos electrónicos capaces de captar información proveniente del entorno en el que se encuentran, procesarla y transmitirla inalámbricamente hacia otro destinatario.

Estos nodos o motas son diseñados y programados para formar parte de una red con un objetivo particular, lo que quiere decir que una mota aislada tiene muy poca utilidad.

Los nodos inalámbricos se clasifican en dos tipos, como a continuación se presenta.

✓ **Nodos intermedios**

También conocidos como “routers” son los encargados de extender el alcance de la red, rodear obstáculos a la transmisión sin hilos y proveer rutas alternativas para el tránsito de mensajes que se envían al gateway.

✓ **Nodos finales**

Son considerados dispositivos de funciones reducidas pues tan solo tienen la labor de sensor la información y transmitirla al siguiente nodo de la red. No tienen que encargarse de recibir información vía radio ni de luego retransmitirla.

El hardware de cada uno de estos dispositivos tiene varias partes bien diferenciadas, que a continuación se detallan.



FIGURA II.1 Componentes de un nodo inalámbrico
Fuente: dialnet.unirioja.es/download/libro/377564.pdf

- **Procesador:** Es el componente que interpreta y procesa los datos para transmitirlos a otra estación. También gestiona el almacenamiento de datos en la memoria.

Puesto que de un nodo sensor se espera una comunicación y una recogida de datos mediante sensores, debe existir una unidad de procesado, que se encargue de gestionar todas estas operaciones.

Existen en el mercado diferentes productos disponibles para ser integrados en un nodo, como microcontroladores, microprocesadores y FPGA.

- **FPGA:** Actualmente éstas presentan varias desventajas, la mayor de ellas es el consumo. A pesar de que en el mercado podemos encontrar FPGAs de bajo consumo, este consumo no es lo suficientemente bajo como debería ser para este tipo de nodos.
- **Microprocesadores:** Han sido sustituidos por los microcontroladores, ya que éstos integran dentro de un mismo dispositivo, un microprocesador y memoria.
- **Microcontroladores:** Como se mencionó anteriormente, incluyen un microprocesador y memoria, pero además tienen una interface para ADCs, UART, SPI, temporizadores y contadores. Hay muchos tipos de microcontroladores que van desde los 4 bits hasta 64 bits, con una variación del número de temporizadores, con diferentes consumos de energía.
- **Alimentación:** Las baterías son la principal fuente de energía de los nodos sensores, pudiendo ser recargables o no recargables. Están clasificados según el material electroquímico usado para el electrodo como pueden ser NiCd (níquel-cadmio), NiZn (níquel -zinc), Nimh (níquel metal hidruro), y Litio-Ion.

Actualmente se están implementando también sistemas basados en energía renovables para solucionar el problema de la energía en estos nodos, basados en energía solar, termo generación, energía basada en vibraciones, entre otras.

- **Comunicación inalámbrica:** El dispositivo de comunicación se trata de un dispositivo vía radio que permite enviar y recibir datos para comunicarse con otros dispositivos dentro de su rango de transmisión. Las RSI usan las frecuencias de comunicación que andan entre 433 MHz y 2.4 GHz.

Dentro de las tecnologías inalámbricas podemos encontrar una gran variedad dependiendo del uso aplicativo que se le quiera dar, en cuanto a cobertura, transferencias de datos, costo, etc. La Tabla II.I. presenta información de las tecnologías inalámbricas de mayor utilización.

TABLA II.I. Tecnologías inalámbricas

TECNOLOGÍA	TRANSFERENCIA	COBERTURA
WiMax	15Mbps	5 Km
Celular 3G	14Mbps	10Km
Celular 2G	400Kbps	35Km
Wi-Fi	54 Mbps	50-100 m
Bluetooth	700Kbps	10 m
Zigbee	250Kbps	40m (interiores) hasta 500m (exteriores)
Zigbee Pro	250 Kbps	90 m (interiores) hasta 7Km (exteriores)
UWB	400Mbps	5-10 m
RFID	1-200Kbps	0.01-10 m

Fuente: dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf

Para poder visualizar de una manera más adecuada el alcance de las diferentes tecnologías inalámbricas existentes, se muestra a continuación la Figura II.2.

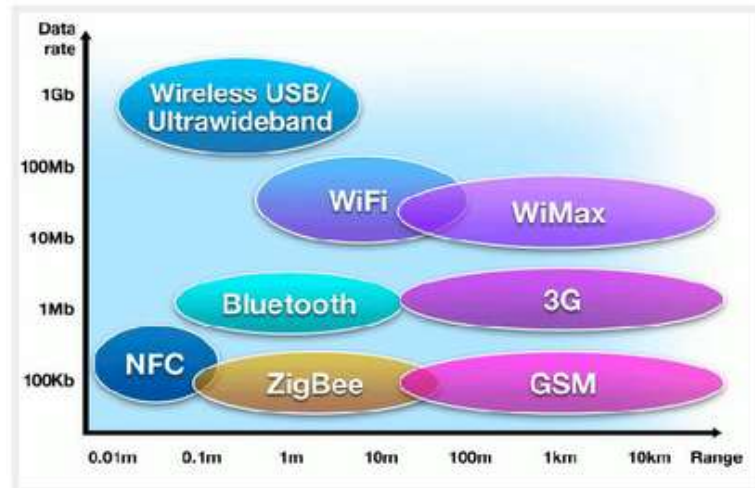


FIGURA II.2. Alcance y tasa de transferencia de las tecnologías inalámbricas
Fuente: <http://www.tst-sistemas.es/tecnologias/>

En la Figura II.2., se observa que los protocolos más adecuados para ser usados en RSI son los protocolos Bluetooth y Zigbee.

- **Sensores:** Los sensores son dispositivos hardware que producen una respuesta medible ante un cambio en un estado físico. Los sensores detectan o miden cambios físicos en el área que están monitorizando. La señal analógica continua detectada es digitalizada por un convertidor analógico digital y enviada a un controlador para ser procesada.

Las características y requerimientos que un sensor debe tener son un pequeño tamaño, un consumo bajo de energía, operar en densidades volumétricas altas, ser autónomo, funcionar desatendidamente y tener capacidad para adaptarse al ambiente.

- **Memoria:** Desde un punto de gasto de energía, las clases más relevantes de memoria son la memoria integrada en el chip de un microcontrolador y la memoria flash, la memoria RAM fuera del chip es raramente usada. Las memorias flash son usadas gracias a su bajo coste y su gran capacidad de almacenamiento.

La memoria flash es una forma desarrollada de la memoria EEPROM que permite que múltiples posiciones de memoria sean escritas o borradas en una misma operación de programación mediante impulsos eléctricos, frente a las anteriores que sólo permite escribir o borrar una única celda cada vez. Por ello, flash permite funcionar a velocidades muy superiores cuando los sistemas emplean lectura y escritura en diferentes puntos de esta memoria al mismo tiempo. Las memorias flash son de carácter no volátil, esto es, la información que almacena no se pierde en cuanto se desconecta de la corriente, una característica muy valorada para la multitud de usos en los que se emplea este tipo de memoria.

Los requerimientos de memoria dependen mucho de la capacidad que necesite nuestra aplicación. Hay dos categorías de memorias según el propósito del almacenamiento.

- Memoria usada para almacenar los datos recogidos por la aplicación.
- Memoria usada para almacenar el programa del dispositivo.

2.1.4.2 Puerta de enlace

Las Puertas de Enlace son elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red de datos (TCP/IP). Es un nodo especial sin elemento sensor, cuyo objetivo es actuar como puente entre dos redes de diferente tipo.

En este tipo de aplicaciones donde se usan redes de sensores (RSI), éstas no pueden operar completamente aisladas y deben contar con alguna forma de monitoreo y acceso a la información adquirida por los nodos de la red de sensores. De aquí surge la necesidad de conectar las redes de sensores a infraestructuras de redes existentes tales como Internet, redes de área local (LAN) e intranets privadas. Los dispositivos que realizan la función de interconectar dos redes de diferente naturaleza se les llama dispositivo puerta de enlace (Gateway).

2.1.4.3 Estación base

La estación base es el recolector de datos basado en un ordenador común o sistema empotrado. Los datos van a parar a un equipo servidor dentro de una base de datos, desde donde los usuarios pueden acceder remotamente y poder observar y estudiar los datos almacenados.

2.1.5 Dispositivos y componentes para RSI en el mercado

Dentro del mercado de las RSI, encontramos una gran variedad de fabricantes de dispositivos y componentes, con el fin de dar una satisfacción en cuanto a soluciones de

los diferentes proyectos y aplicaciones dependiendo de los requerimientos que el usuario mantenga. Es por eso que en cuanto a los fabricantes de dispositivos para RSI pioneras en el mercado se encuentra Arduino y Waspnote, no solo por sus completas funcionalidades, adaptaciones al medio, portabilidad y compatibilidad entre variedad de dispositivos y sensores, sino también por encaminar sus productos hacia el desarrollo de plataformas de software y hardware en ambientes libres.

La Tabla II.II presenta varias plataformas de RSI actualmente existentes en el mercado.

TABLA II.II Plataformas existentes en el mercado de las RSI

N°	EMPRESA	PLATAFORMA	APLICACIONES
1	Crossbow	Mica, Mica2, MicaZ, Mica2dot, telos, telosb, Iris e Imote2.	RSI
2	Sentilla	TmoteSky y TmoteInvent	RSI
3	Shockfish	TinyNode	RSI - industriales
4	BTnode	NCCSMICS y Smart-Its	RSI - industriales
5	EMBER	EM250	RSI- escalables
6	SUN	Sun SPOT	RSI
7	Nano-RK	FireFly	RSI- en tiempo real
8	Arduino	Arduino	Prototipado RSI - tiempo real
9	Libelium	Waspnote, Waspnote Plug & Sense)	RSI – distribuidas Aplicaciones industriales




Fuente: dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf

2.1.6 Topologías

La topología se refiere a la configuración de los componentes hardware y como los datos son transmitidos a través de esa configuración. Cada topología es apropiada bajo ciertas circunstancias y puede ser inapropiada en otras. Las topologías que se pueden utilizar en las RSI son: estrella, malla o una híbrida entre ellas dos. Cada topología presenta:

desafíos, ventajas y desventajas. La Tabla II.III presenta la simbología utilizada para representar la topología.

TABLA II.III Simbología de componentes de las topologías

COMPONENTES	SIMBOLOGÍA
Nodos Finales	
Nodos Intermedios	
Puertas de enlace (gateways)	

Fuente: dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf

- ✓ **Topología en estrella.-** Es un sistema donde la información enviada solo da un salto y donde todos los nodos sensores están en comunicación directa con la puerta de enlace. Todos los nodos sensores son idénticos, nodos finales, y la puerta de enlace capta la información de todos ellos. La puerta de enlace también es usada para transmitir datos al exterior y permitir la monitorización de la red. Los nodos finales no intercambian información entre ellos, sino que usan la puerta de enlace para ello, si es necesario. Esta topología es la que menor gasto de energía desarrolla, pero por el contrario está limitada por la distancia de transmisión vía radio entre cada nodo y la puerta de enlace. La Figura II.3. presenta la estructura de una red con topología en estrella.

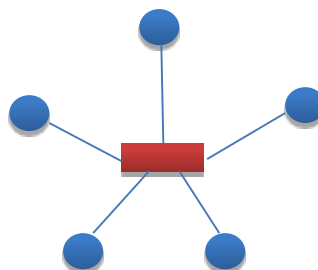


FIGURA II.3. Topología estrella

Fuente: dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf

- ✓ **Topología en malla.-** Es un sistema multisalto, donde todos los nodos intermedios son idénticos. Cada nodo puede enviar y recibir información de otro nodo y de la puerta de enlace. A diferencia de la topología en estrella, donde los nodos solo pueden hablar con la puerta de enlace, en ésta los nodos pueden enviarse mensajes entre ellos. Esta topología es altamente tolerante a fallos ya que cada nodo tiene diferentes caminos para comunicarse con la puerta de enlace. Si un nodo falla, la red se reconfigurara alrededor del nodo fallido automáticamente. La Figura II.4. presenta la estructura de una red con topología en malla.

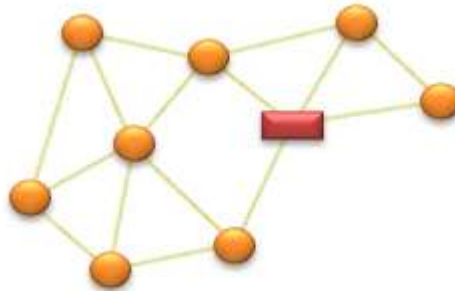


FIGURA II.4. Topología malla

FUENTE: dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf

- ✓ **Topología híbrida estrella-malla.-** Busca combinar las ventajas de los otros dos tipos, la simplicidad y el bajo consumo de una topología en estrella, así como la posibilidad de cubrir una gran extensión y de reorganizarse ante fallos de la topología en malla. Este tipo crea una red en estrella alrededor de nodos intermedios pertenecientes a una red en malla. Los nodos intermedios dan la posibilidad de ampliar la red y de corregir fallos en estos nodos y los nodos finales se conectan con los nodos intermedios cercanos ahorrando energía. La Figura II.5. presenta la estructura de una red con topología híbrida.

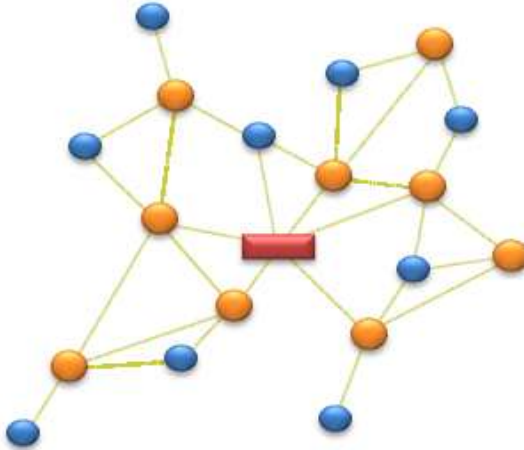


FIGURA II.5. Topología híbrida: estrella-malla
Fuente: dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf

2.1.7 Aplicaciones

Las RSI pueden soportar un amplio rango de aplicaciones, dentro de las cuales se mencionan las siguientes.

- ✓ **Automoción.-** Con las características de las RSI, los coches podrán pronto estar disponibles para hablar unos con otros y con infraestructuras dentro de carreteras y autopistas. Los sensores pueden aplicarse en las ruedas del vehículo para dar asistencia al conductor y avisar de posibles mensajes de alerta.

- ✓ **Control domótico de un edificio.-** Aplicaciones de este tipo en el control de una oficina o una casa hacen que el tiempo de permanecía dentro de ésta sea mucho más agradable para el ser humano. El uso de sensores empotrados puede reducir ampliamente los costes de una monitorización de una construcción donde tener un conocimiento de la temperatura y de la luz para poder regular los sistemas de calefacción y aire acondicionado, así como las luces.

- ✓ **Monitorización ambiental.-** La monitorización ambiental es una de las primeras aplicaciones donde se utilizaron redes de sensores inalámbricas. Nos permite poder distribuir una gran cantidad de sensores en un espacio natural y obtener una gran cantidad de datos que de otra forma es imposible de obtener con la instrumentación tradicional.

- ✓ **Cuidado de la salud.-** Antiguas formas de realizar cuidados médicos pueden verse beneficiadas usando RSI que monitoricen las señales vitales de los pacientes, enviando dicha información hasta las oficinas de los médicos o simplemente avisando al paciente si alguna de sus señales cae drásticamente. En estos casos también puede usarse como una red personal que sirva para entender los movimientos y el comportamiento de las personas.

- ✓ **Control de procesos industriales.-** En el entorno industrial el uso de sensores es algo común y para poder acceder a zonas donde no podemos usar cableado, las RSI son la herramienta adecuada. Posibles aplicaciones en este entorno son: telemetría en plantas, pérdidas de calidad, diagnóstico de maquinaria, monitorización, etc.

- ✓ **Apoyo militar.-** El apoyo militar fue el primer propósito por el cual empezó a investigarse esta área. Tener conocimiento en tiempo real del campo de batalla es esencial para el control, las comunicaciones y la toma de decisiones.

- ✓ **Agricultura y ganadería.-** La agricultura y la ganadería son dos de las áreas donde puede ser importante esta tecnología, ya que una situación al aire libre donde

monitorizar condiciones que ayuden a la mejora de producción y calidad en una producción agrícola o el control de cabezas de ganado en continuo movimiento puede ser muy difícil con la tecnología tradicional.

- ✓ **Seguridad y vigilancia.-** Un importante campo de aplicaciones es la monitorización de seguridad y vigilancia en edificios, aeropuertos, metros, u otras infraestructuras críticas como redes de energía y telecomunicaciones o como autopistas. Sensores de captación de imágenes y videos pueden ser usados para identificación o seguimiento de posibles objetivos móviles, a pesar de que requieren un alto ancho de banda a la hora de la comunicación de datos.

- ✓ **Control del tráfico.-** Las redes de sensores son el complemento perfecto a las cámaras de tráfico, ya que pueden informar de la situación del tráfico en ángulos muertos que no cubran las cámaras y también pueden informar a los conductores de una situación, en caso de atasco o accidente, que permita a estos tener la capacidad de reacción para tomar rutas alternativas.

2.2 PROTOCOLO DE COMUNICACIONES ZIGBEE

2.2.1 Definición

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), cuyo objetivo son las aplicaciones para redes inalámbricas que requieran comunicaciones seguras y fiables con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. [51].

2.2.2 Arquitectura

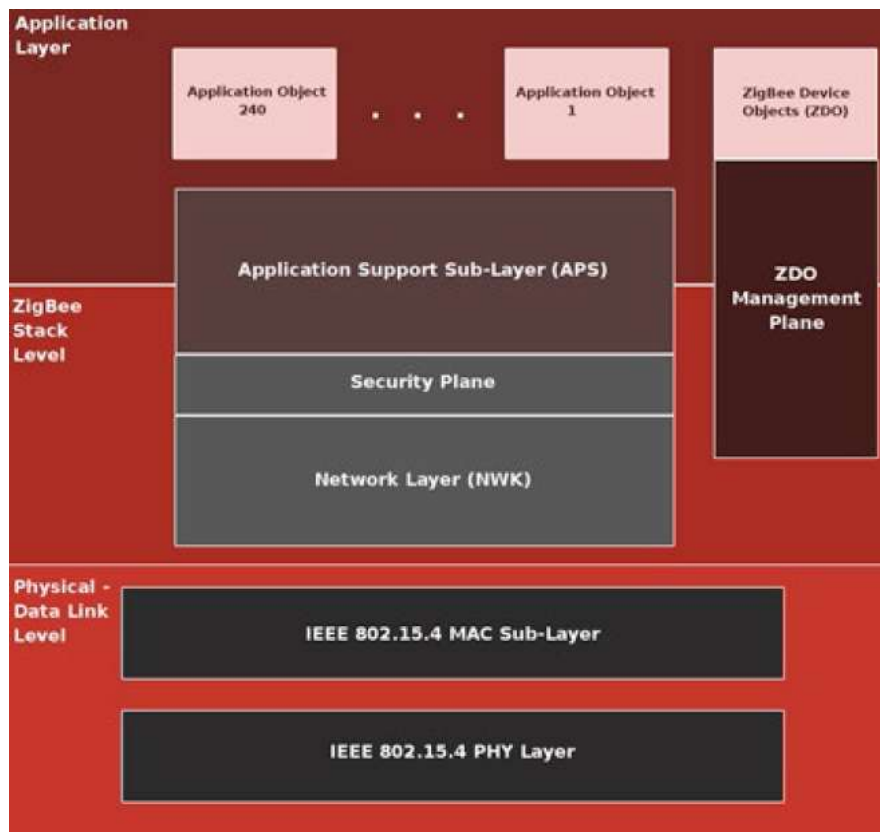


FIGURA II.6 Arquitectura Zigbee

Fuente: http://www.libelium.com/uploads/2013/02/waspmote-zigbee-networking_guide.pdf

- ✓ **ZigBeeDeviceObjects (ZDO).**- Es un protocolo de la pila del protocolo ZigBee, es responsable de la gestión de dispositivos en general, seguridad, claves y políticas.
- ✓ **ZDOManagement Plane.**- Este plano se extiende por la ApplicationSupport Sub-Layer (APS) y las capas NWK, permitiendo la comunicación entre estas capas al

realizar sus tareas internas. Además permite que el ZDO haga frente a las peticiones de las solicitudes de acceso y funciones de seguridad de la red por medio de mensajes ZDP.

- ✓ **ApplicationSupport Sub-Layer (APS).**- El APS es responsable de la comunicación con la aplicación correspondiente y de mantener tablas de unión entre las aplicaciones.

- ✓ **Network Layer (NWK).**- La NWK maneja el direccionamiento de red y el encaminamiento o routing produciendo acciones en la MAC.

- ✓ **Security Plane.**- Un Security Plane es un tramo de la arquitectura que se extiende e interactúa con el APS y las capas NWK, proporcionando servicios de seguridad. Como por ejemplo: la gestión de la seguridad de claves, cifrado y descifrado de datos.

- ✓ **Application Framework(AF).**- La Application Framework contiene los objetos de aplicación y facilita la interacción entre las aplicaciones y la capa APS. Los objetos de la aplicación interactúan con la capa APS a través de una interfaz conocida como Service Access Point (SAP).

- ✓ **Service Access Point (SAP).**- Un SAP implementa un conjunto de operaciones para pasar información y los comandos entre las capas.

- ✓ **ApplicationEndpoints.**- Un nodo puede tener varias aplicaciones que se ejecutan en él (varios sensores) cada uno de los cuales es una aplicación. Estas instancias de

aplicación sobre un nodo se dice que son puntos finales (endpoints), donde los mensajes pueden originarse y/o terminarse.

- ✓ **Atributos.-** Cada elemento de datos que pasa entre los dispositivos de una red ZigBee se llama un atributo. Cada atributo tiene su propio y único identificador.

- ✓ **Clusters.-** Un clúster es la agrupación de atributos, donde cada grupo tiene su propio identificador único.

2.2.3 Características

Algunas de las características más sobresalientes de ZigBee son:

- ✓ ZigBee opera en las bandas libres ISM (Industrial, Scientific & Medical) de 2.4GHz, 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.

- ✓ A pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth su desempeño no se ve afectado, esto debido a su baja tasa de transmisión y a características propias del estándar IEEE 802.15.4.

- ✓ Capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, entonces, mayor número de rutas alternas existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino.

- ✓ Cada red ZigBee tiene un identificador de red único, lo que permita que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación sin ningún problema. Teóricamente pueden existir hasta 16 000 redes diferentes en un mismo canal y cada red puede estar constituida por hasta 65 000 nodos, obviamente estos límites se ven truncados por algunas restricciones físicas (memoria disponible, ancho de banda, etc.).

- ✓ Es un protocolo de comunicación multi-salto, es decir, que se puede establecer comunicación entre dos nodos aun cuando estos se encuentren fuera del rango de transmisión, siempre y cuando existan otros nodos intermedios que los interconecten, de esta manera, se incrementa el área de cobertura de la red.

- ✓ Su topología de malla (MESH) permite a la red auto recuperarse de problemas en la comunicación aumentando su confiabilidad.

2.2.4 Dispositivos y componentes Zigbee

Se definen tres tipos diferentes de componentes ZigBee según su papel en la red [11], que se detalla a continuación.

- ✓ **Coordinador ZigBee (ZigBee coordinator, ZC).**- El tipo de dispositivo más completo. Puede actuar como director de una red en árbol así como servir de enlace a otras redes. Existe exactamente un coordinador por cada red, que es el nodo que la comienza en principio. Puede almacenar información sobre la red y actuar como su centro de confianza en la distribución de claves de cifrado.

- ✓ **Router ZigBee (ZR).**- Además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario, puede actuar como router interconectando dispositivos separados en la topología de la red.

- ✓ **Dispositivo final (ZigBeeenddevice, ZED).**- Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (coordinador o 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.

En base a su funcionalidad puede plantearse una segunda clasificación:

- ✓ **Dispositivo de funcionalidad completa (FFD).**- Es capaz de recibir mensajes en formato del estándar 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como coordinador o router, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interfaz con los usuarios.

- ✓ **Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD).**- 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.

2.2.5 Comunicación entre dispositivos

Para que los dispositivos que forman una aplicación puedan comunicarse, deben utilizar un protocolo de aplicación compartido. Estas convenciones se agrupan en perfiles. Las decisiones de asociación se deciden en base a la coincidencia entre identificadores de clusters de entrada y salida, que son únicos en el contexto de un perfil dado y se asocian a un flujo de datos de entrada o salida en un dispositivo, las tablas de asociación mantienen los pares de identificadores fuente y destino.

En base a la información disponible, el descubrimiento de dispositivos puede adecuarse utilizando varios métodos distintos. Si se conoce la dirección de red, se pide la dirección IEEE utilizando unicast. Si no es así, se pide por broadcasty la dirección IEEE forma parte de la respuesta. Los dispositivos finales responden con la dirección propia solicitada, mientras que los nodos intermedios o routers y coordinadores envían también las direcciones de todos los dispositivos asociados a ellos.

Este protocolo extendido permite indagar acerca de dispositivos dentro de una red y sus servicios ofrecidos a nodos externos a la misma. Los identificadores de cluster favorecen la asociación entre entidades complementarias por medio de tablas de asociación, mantenidas en los coordinadores ZigBee ya que estas tablas siempre han de estar

disponibles en una red (los coordinadores son, de entre todos los nodos, los que con mayor seguridad dispondrán de una alimentación continua). Los backups a estas tablas, de ser necesarios para la aplicación, han de realizarse en niveles superiores. Por otra parte, el establecimiento de asociaciones necesita que se haya formado un enlace de comunicación; tras ello, se decide si adjuntar un nuevo nodo a la red en base a la aplicación y las políticas de seguridad.

Luego de establecerse la asociación, pueden iniciarse las comunicaciones. El direccionamiento directo utiliza la dirección de radio y el número de endpoint; por su parte, el indirecto necesita toda la información relevante (dirección, endpoint, cluster y atributo) y la envía al coordinador de la red, que mantiene esta información por él y traduce sus peticiones de comunicación. Este direccionamiento indirecto es especialmente útil para favorecer el uso de dispositivos muy sencillos y minimizar el almacenamiento interno necesario. Además de estos dos métodos, se puede hacer broadcast a todos los endpoints de un dispositivo, y direccionamiento de grupos para comunicarse con grupos de endpoints de uno o varios dispositivos distintos.

2.2.6 Seguridad

La seguridad de las transmisiones y de los datos son puntos clave en la tecnología ZigBee. Ésta utiliza el modelo de seguridad de la subcapa MAC IEEE 802.15.4, la cual especifica 4 servicios de seguridad.

- ✓ **Control de accesos:** El dispositivo mantiene una lista de los dispositivos comprobados en la red.

- ✓ **Datos Encriptados:** Los cuales usan una encriptación con un código de 128 bits.

- ✓ **Integración de tramas:** Protegen los datos de ser modificados por otros.

- ✓ **Secuencias de refresco:** Comprueban que las tramas no han sido reemplazadas por otras. El controlador de red comprueba estas tramas de refresco y su valor, para ver si son las esperadas.

2.2.7 Zigbee en el mercado

En la actualidad, en el mercado de dispositivos de comunicación Zigbee se encuentra la empresa Digi International [16], líder en conexión de dispositivos a la red para empresas, desarrolla productos y tecnologías fiables para conectar y administrar de forma segura dispositivos electrónicos locales o remotos mediante la red o por Internet. Ofreciendo ésta empresa los máximos niveles de rendimiento, flexibilidad y calidad, comercializando sus productos por medio de una red mundial de distribuidores, integradores de sistemas y fabricantes de equipos originales (OEM).

La empresa Digi International introduce al mercado dispositivos que permiten una comunicación mediante el protocolo de comunicaciones Zigbee, denominados módulos XBee, diseñados para cumplir con el estándar IEEE 802.15.4 y con las necesidades de bajo costo y potencia de las redes de sensores inalámbricas, además de un consumo

mínimo de energía para la entrega de los datos entre los dispositivos y su funcionalidad se basa en la banda ISM de 2.4 GHz de frecuencia [50].

Los módulos XBee-ZB cumplen con el estándar ZigBee-PRO v2007 que define hasta la capa de aplicación, permitiendo gestionar al completo una red. A las funcionalidades aportadas por ZigBee, los módulos XBee añaden ciertas funcionalidades como:

- ✓ **Descubrimiento de nodos:** se añaden unas cabeceras de forma que se pueden descubrir otros nodos dentro de la misma red. Permite enviar un mensaje de descubrimiento de nodos, de forma que el resto de nodos de la red responden indicando sus datos.

- ✓ **Detección de paquetes duplicados:** Esta funcionalidad no se establece en el estándar y es añadida por los módulos XBee.

Zigbee XBee se presenta en el mercado en dos productos claramente identificados como XBee ZB y XBee-Pro ZB, los mismos que se pueden visualizar en la Figura II.7.

Módulo XBee ZB

Módulo XBee - Pro ZB



FIGURA II.7. Módulos Zigbee

Fuente: http://www.libelium.com/uploads/2013/02/waspmote-zigbee-networking_guide.pdf

Las características y funcionalidades de los módulos Zigbee se presentan en la Tabla II.IV.

Tabla II.IV Características de los módulos Zigbee

ESPECIFICACIONES	XBEE ZB	XBEE - PRO ZB
RENDIMIENTO		
Velocidad de datos en RF	250 Kbps	
Alcance en interiores / zonas urbanas	40 m	90 m
Alcance en línea de visión / exteriores	120 - 500 m	1,6 - 7 Km
Potencia de transmisión	1,25 mW (1dBm) / 2mW (3dBm) modo boost	50mW (17 dBm)
Sensibilidad de recepción	-96 dBm (modo boost)	-102dBm
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS		
Rango de alimentación	2,1 – 3,6 VCC	3 – 3,4 VCC
Corriente en transmisión	35 / 45 mA, 3,3VCC	295 mA, 3,3VCC
Corriente en recepción	38 / 40 mA, 3,3VCC	45 mA, 3,3 VCC
Corriente en bajo consumo	<1 uA, 25°C	<10 uA, 25°C
INFORMACIÓN GENERAL		
Frecuencia	2.4 GHz	
Entradas analógicas	4 canales A/D de 10 bits	
Entradas/Salidas digitales	10	
RED Y SEGURIDAD		
Encriptación	AES 128bits	
Entrega confiable de paquetes	Reenvíos / Reconocimientos	
Identificadores y canales	PAN ID, 64 bits IEEE MAC, 16 canales	PAN ID, 64bits IEEE MAC, 13 canales

Fuente: http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_P.pdf

2.2.8 Zigbee frente a otras tecnologías inalámbricas

En la Tabla II.V se especifica las diferentes características de tecnologías inalámbricas más relevantes, competitivas a Zigbee dentro de las RSI.

TABLA II.V. Comparativa entre tecnologías inalámbricas

DESCRIPCIÓN	Wi-Fi a/b/g (802.11)	Bluetooth (802.15.1)	ZigBee (802.15.4)
Frecuencia	2.4 GHz (b y g) / 5.0 GHz (a)	2.4 GHz	2.4 GHz, 868 MHz y 915 MHz
Tamaño de la pila	~1 Mb	~1 Mb	~20 Kb
Tasa de transferencia	54 Mbps	1 Mbps	250kbps (2.4 GHz) 40kbps (915 MHz) 20kbps (868 MHz)
Número de canales	11 - 14	79	16 (2.4 GHz) 10 (915 MHz) 1 (868 MHz)
Tipo de datos	digital	digital, audio	digital, texto
Cobertura entre nodos internos	100m	10m – 100m	10m – 100m
Número de dispositivos	32	8	255 / 65535
Tiempo de conexión a la red	Hasta 3s	Hasta 10s	30ms
Requisitos de alimentación/duración	Media - Horas	Media - Días	Muy Baja- Años
Consumo de potencia	400mA Tx 20mA en reposo	40mA Tx 0.2mA en reposo	30mA Tx 3mA en reposo
Difusión en el mercado	Alta	Media	Baja
Arquitecturas soportadas	Estrella	Estrella	Estrella, Árbol, Punto a punto y Malla
Aplicaciones	Conexión a internet, web, email, video	Ordenadores y teléfonos móviles	Control y monitorización, localización
Precio	Elevado	Medio	Bajo
Complejidad	Complejo	Complejo	Simple
Puntos fuertes	Velocidad, flexibilidad	Prestaciones, costo	Robustez, consumo, costo, flexibilidad, escalabilidad

Fuente: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8592/PFC%20-%20DESARROLLO%20DE%20APLICACIONES%20BASADAS%20EN%20WSN.pdf>

2.3 PLATAFORMA ARDUINO

2.3.1 Descripción

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware libre, flexible y fácil de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquier interesado en crear entornos, proyectos u objetos interactivos.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada, para esto se puede usar toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores.

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing).






Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectarlo a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, MaxMSP).

Las placas pueden ser hechas a mano o comprarse montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, así pues es libre de ser adaptado a cualquier necesidad. [8].

2.3.2 Hardware

En la actualidad existen diferentes versiones de placas o módulos Arduino. En la Tabla II.VI se detallan las placas de mayor relevancia dentro de la plataforma Arduino.

Tabla II.VI. Módulos Arduino




NOMBRE	GRÁFICO	MICROCONTROLADOR	I/O DIGITALES	ENTRADAS ANALÓGICAS	MEMORIA FLASH	SRAM	EEPROM
Duemilanove		ATmega168 o ATmega328	14 6 proporcionan salida PWM	6	16 KB (ATmega168) o 32 KB (ATmega328) 2KB reservados para el gestor de arranque	1 KB (ATmega168) o 2 KB (ATmega328)	512 bytes (ATmega168) o 1 KB (ATmega328)
Diecimila		ATmega168	14 6 proporcionan salida PWM	6	16 KB (2 KB reservados para el gestor de arranque)	1KB	512 bytes
Uno		Atmega328	14 6 proporcionan salida PWM	6	32 KB (0,5 KB reservados para el gestor de arranque)	2KB	1KB
Mega 1280		ATmeg1280	54 14 proporcionan salida PWM	16	128 KB (4 KB reservados para el gestor de arranque)	8KB	4KB
Mega 2560		ATmega2560	54 15 proporcionan salida PWM	16	256 KB (8 KB reservados para el gestor de arranque)	8KB	4KB

Fuente: <http://arduino.cc/es/Main/Boards>

2.3.3 Shields

Son placas que se colocan encima de la placa Arduino y que amplían una nueva función para que sea controlada desde Arduino, para controlar diferentes aparatos, adquirir datos, comunicaciones, etc. En la Tabla II.VII. se muestran los Shields disponibles para la plataforma Arduino.

Tabla II.VII. Shields Arduino

Nº	NOMBRE	GRÁFICO	FUNCIÓN
1	Shield Xbee		Permite conectar inalámbricamente varios Arduino a varios metros e incluso kilómetros de distancia, usando los módulos Maxstream Xbee Zigbee. (XBee ZB y XBee Pro ZB).
2	Shield Motores		Permite a Arduino controlar motores eléctricos de corriente continua, servos, motores paso a paso y leer encoders.
3	Shield Ethernet		Permite a una placa Arduino conectarse a una red Ethernet y tener acceso a y desde Internet.

Fuente: <http://arduino.cc/es/Main/Hardware>

Para este caso de estudio se analizará el módulo Arduino Mega 2560, debido a que sus características y funcionalidades son similares a la plataforma Waspote, en cuanto tiene que ver al microcontrolador, memoria, E/S, prestaciones, etc., con la cual se analizará y comparará más adelante.

2.3.4 Módulo Arduino MEGA 2560

Es una placa electrónica basada en ATmega2560. Posee 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 proporcionan salida PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos seriales), un cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, entrada de corriente, conector ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para hacer funcionar el microcontrolador; simplemente se debe conectar al ordenador con el cable USB, un transformador o una batería. El módulo Mega2560 es compatible con la mayoría de shields diseñados para el Arduino Duemilanove o Diecimila. El módulo Arduino Mega 2560 es una actualización del módulo Arduino Mega 1280, al que sustituye.

El Arduino Mega 2560 difiere de todas las placas anteriores, ya que no utiliza el chip controlador FTDI USB-to-serial. En su lugar, se cuenta con el ATMEGA16U2 programado como convertidor USB a serie.

2.3.4.1 Componentes y especificaciones

La Figura II.8 muestra el módulo Arduino Mega 2560 con sus componentes principales.

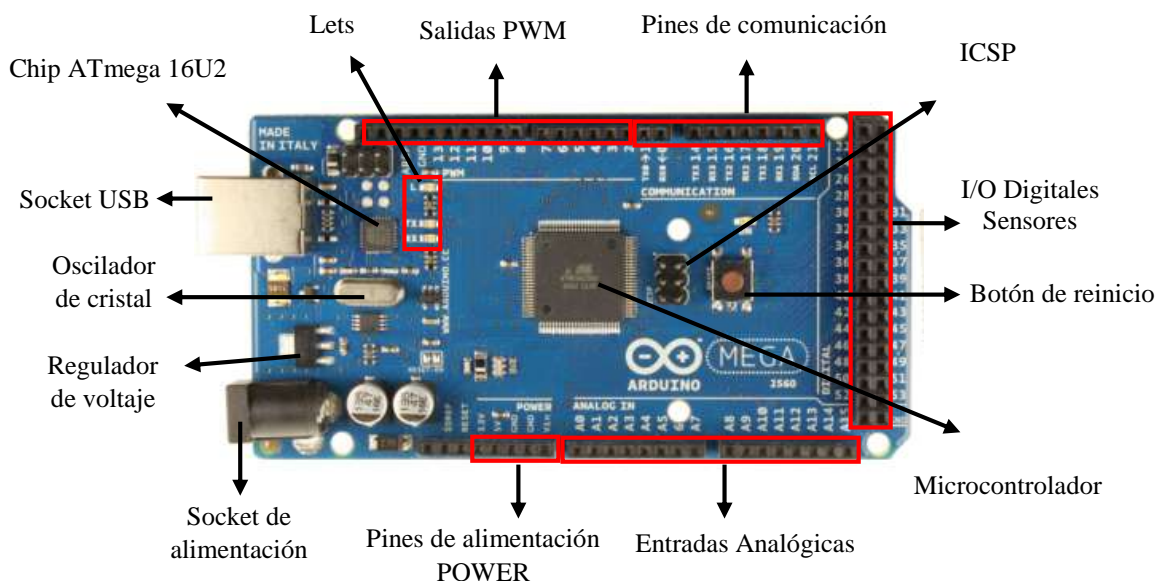


FIGURA II.8. Componentes principales del módulo Arduino Mega 2560
Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

La Tabla II.VIII muestra las especificaciones del módulo Arduino Mega 2560.

TABLA II.VIII. Especificaciones del módulo Arduino Mega 2560

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines E / S digitales	54 (15 proporcionan PWM)
Pines de entrada analógica	16
Intensidad por pin	40 mA
Intensidad en pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB de los cuales 8 KB utilizado por gestor de arranque (bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad del reloj	16 MHz

Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

2.3.4.2 Diagrama de pines

El diagrama electrónico del módulo Arduino Mega 2560 se puede visualizar en el **ANEXO A**.

Los pines del Arduino pueden configurarse como entradas o salidas. Es importante señalar que la gran mayoría de los pines analógicos de Arduino (Atmega), pueden configurarse y utilizarse, exactamente de la misma manera que los pines digitales.

Los pines de Arduino (Atmega) por defecto son de entrada, por lo que no es necesario configurarlos explícitamente como entradas. Se dice que los pines configurados como entradas están en estado de alta impedancia. Una forma de explicar esto es que los terminales de entrada hacen demandas extremadamente pequeñas en el circuito que están

muestreando, se dice que equivale a una resistencia en serie de 100 megaohmio frente al pin. Esto también significa, que los terminales de entrada sin conectar nada a ellos, o con los cables conectados a ellos sin estar conectados a otros circuitos, reflejarán cambios aparentemente aleatorios en el estado de pin, recogiendo el ruido eléctrico del entorno, o el acoplamiento capacitivo del estado de un pin próximo.

2.3.4.3 Conversor A/D

El controlador Atmega que usa Arduino lleva incluido un conversor analógico-digital (A/D) de 6 canales. Tiene una resolución de 10 bits, retornando enteros desde 0 a 1023. Mientras que el uso principal de estos pines por los usuarios de Arduino es para la lectura de sensores analógicos, estos pines tienen también toda la funcionalidad de los pines de entrada-salida de propósito general (GPIO).

Consecuentemente, si un usuario necesita más pines de propósito general de entrada-salida, y no se está usando ningún pin analógico, estos pines pueden usarse como GPIO.

2.3.4.4 Memoria

La Tabla II.IX presenta las tres fuentes básicas de memoria del microcontrolador del módulo Arduino Mega 2560.

TABLA II.IX Características de las memorias del módulo Arduino Mega 2560

Nº	NOMBRE	TAMAÑO	VOLÁTIL	FUNCIÓN
1	FLASH	256 KB	NO	Almacena el código. Reserva 8KB para el arranque del sistema (bootloader).

2	SRAM	8 KB	SI	Almacena y manipula las variables del código al ejecutarse.
3	EEPROM	4 KB	NO	Puede ser útil para leer o escribir información de largo plazo

Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

2.3.4.5 Características físicas y compatibilidad de shields

La longitud y amplitud máxima de la placa o módulo Arduino Mega 2560 es de 4 y 2,1 pulgadas respectivamente, con el conector USB y la conexión de alimentación sobresaliendo de estas dimensiones. Tres orificios para fijación con tornillos permiten colocar el módulo en superficies y cajas.

El módulo Arduino Mega 2560 está diseñado para ser compatible con la mayoría de shields diseñados para módulos Arduino Uno, Diecimila o Duemilanove. Los pines digitales de 0 a 13 (y los pines AREF y GND adyacentes), las entradas analógicas de 0 a 5, los conectores de alimentación y los conectores ICPS están todos ubicados en posiciones equivalentes. Además el puerto serie principal UART está ubicado en los mismos pines (0 y 1), así como las interrupciones externas 0 y 1 (pines 2 y 3 respectivamente).

2.3.4.6 I/O

Cada uno de los 54 pines digitales en el Arduino Mega 2560 puede utilizarse como entradas o salidas. Las I/O operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir una intensidad máximo de 40 mA y tiene una resistencia interna (desconectada por defecto) de 20 - 50 kOhm. Además, algunos pines tienen funciones especializadas, como se detalla en la Tabla II.X.

Tabla II.X Funciones especiales de los pines del módulo Arduino Mega 2560

NOMBRE	PIN	DESCRIPCIÓN
SERIAL		
Serial 0	0 Rx 1 Tx	Usado para recibir (RX) y transmitir (TX) datos a través del puerto serie TTL. El Serial 0 está también conectados a los pines correspondientes de la ATmega 16U2 del chip Serial USB-a-TTL.
Serial 1	19 Rx 18 Tx	
Serial 2	17 Rx 16 Tx	
Serial 3	15 Rx 14 Tx	
INTERRUPCIONES EXTERNAS		
Interrupción 0	2	Estos pines se pueden configurar para activar una interrupción en un valor bajo (0V), en flancos de subida o bajada (cambio de valor de bajo (0V) a alto (5V) o viceversa).
Interrupción 1	3	
Interrupción 5	18	
Interrupción 4	19	
Interrupción 3	20	
Interrupción 2	21	
PWM		
Salidas PWM	Del 2 al 13 y del 44 al 46	Proporciona una salida PWM de 8 bits de resolución (valores de 0 a 255).
SPI		
MISO	50	Proporcionan comunicación SPI.
MOSI	51	
SCK	52	
SS	53	
LEDS		
LED	13	Existe un LED integrado en el módulo conectado al pin digital 13, cuando este pin tiene un valor alto (5V), el LED se enciende y cuando este tiene un valor bajo (0V) este se apaga.
TWI		
SDA	20	Apoyan la comunicación con el TWI.
SCL	21	Soporta el protocolo de comunicaciones I ² C
OTROS		
AREF	AREF	Proporciona el voltaje referencia para las entradas analógicas.
RESET	RESET	Suministrar un valor bajo (0V) para reiniciar el microcontrolador. Típicamente usado para añadir un botón de reinicio a los shields que no dejan acceso al botón de reinicio en el módulo.

Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

2.3.4.7 Comunicación

El Arduino Mega 2560 facilita en varios aspectos la comunicación con el ordenador, otro Arduino u otros microcontroladores. El ATmega2560 proporciona cuatro puertos de comunicación vía serie UART TTL (5V). Un chip ATmega 16U2 integrado en el módulo, ésta comunicación se da a través del USB, los cuales proporcionan un puerto serie virtual (COM) en el ordenador. El software de Arduino incluye un monitor de puerto serie que permite enviar y recibir información textual simple desde y hacia la placa Arduino. Los LEDs RX y TX del módulo o placa parpadean cuando detectan comunicación transmitida través del chip ATmega 16U2 y la conexión USB, (pero no parpadea si se usa la comunicación serie a través de los pines 0 y 1).

Además el módulo Arduino Mega 2560 permite comunicación serie por cualquier par de pines digitales, así como también soportan la comunicación I2C (TWI) y SPI. El software de Arduino incluye una librería Wire que ayuda a simplificar el uso del bus I2C.

3.4.3.8 Alimentación

El Arduino Mega 2560 puede ser alimentado vía la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de la alimentación se selecciona automáticamente.

Las fuentes de alimentación externas (no-USB) pueden ser tanto un transformador o una batería. El adaptador se puede conectar usando un conector macho de 2.1mm con centro

positivo, en el conector hembra de la placa. Los cables de la batería pueden conectarse a los pines Gnd y Vin en los conectores de alimentación (POWER).

El módulo puede trabajar con un suministro externo de entre 6 a 20 voltios. Si el voltaje suministrado es inferior a 7V el pin de 5V puede proporcionar menos de 5V y la placa puede volverse inestable, si se usan más de 12V los reguladores de voltaje se pueden sobrecalentar y dañar la placa. Es por eso que el rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Los pines de alimentación de la placa Arduino Mega 2560 son los siguientes.

- ✓ **VIN:** Es la entrada de voltaje a la placa Arduino cuando se está usando una fuente externa de alimentación (en lugar de los 5 voltios de la conexión USB u otra fuente de alimentación regulada). Se puede proporcionar voltaje a través de este pin o a través de la conexión de 2.1mm.
- ✓ **5V:** Es la fuente de voltaje estabilizado, usado para alimentar el microcontrolador y otros componentes de la placa. Esta fuente puede provenir de VIN a través de un regulador integrado en la placa, o proporcionada directamente por el USB u otra fuente estabilizada de 5V.
- ✓ **3V3:** Es una fuente de voltaje a 3.3 voltios generada por el regulador integrado en la placa. La corriente máxima soportada es de 50mA.
- ✓ **GND:** Son pines destinados para la toma de conexiones a tierra.

- ✓ **IOREF:** Este pin proporciona el voltaje con el que opera el microcontrolador.

2.3.4.9 Protección contra sobretensiones en USB

La placa Arduino Mega 2560 tiene un multifusible reinicializable que protege la conexión USB del computador de posibles cortocircuitos y sobretensiones. Aparte que la mayoría de ordenadores proporcionan su propia protección interna, el fusible proporciona una capa extra de protección. Si son detectados más de 500 mA en el puerto USB, el fusible automáticamente corta la conexión hasta que el cortocircuito o la sobretensión desaparezcan.

2.3.5 Software y programación

El lenguaje de programación de Arduino es una implementación de Wiring, una plataforma de computación física parecida, que a su vez se basa en Processing, un entorno de programación multimedia.

Algunas características del software de programación se presentan a continuación.

- ✓ **Multi-Plataforma:** El software de Arduino funciona en los sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux. La mayoría de los entornos para microcontroladores están limitados a Windows.

- ✓ **Entorno de programación simple y directo:** El entorno de programación de Arduino es fácil y lo suficientemente flexible para los usuarios principiantes y avanzados. Arduino está basado en el entorno de programación de Processing con lo que el usuario al programar se sentirá familiarizado con el entorno de desarrollo Arduino.

- ✓ **Software ampliable y de código abierto:** El software Arduino está publicado bajo una licencia libre y preparado para ser ampliado por programadores experimentados. El lenguaje puede ampliarse a través de librerías de C++, y si se está interesado en profundizar en los detalles técnicos, se puede dar el salto a la programación en el lenguaje AVR C en el que está basado. [9].

2.3.6 Equipamiento Arduino – Zigbee

Para poder realizar una correcta comunicación con Arduino mediante el protocolo de comunicaciones Zigbee, se debe tener en cuenta el equipamiento apropiado para realizar esta tarea. Principalmente será necesario la placa o módulo Arduino base, que se deberá escoger de acuerdo a los requerimientos de procesamiento y funciones que se requiera, la cual permitirá incluir los Shields Arduino, que ayudarán a equipar la placa para permitir la integración de cualquiera de los dos módulos de comunicación mediante el protocolo Zigbee, denominados XBee ZB y XBee – Pro ZB, de esta manera se logra obtener un nodo inalámbrico que funciona bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee, dependiendo de las funciones que se requiera que cumpla, que se establecerá en la configuración y

programación de los componentes. La Figura II.9 muestra la estructura de los componentes de un nodo inalámbrico del equipamiento Arduino – Zigbee.

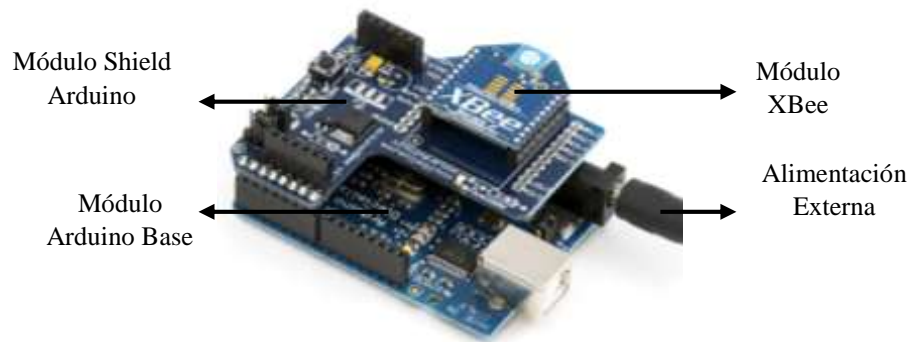


FIGURA II.9 Nodo Arduino - Zigbee
Fuente: <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=54413.0>

2.3.7 Análisis de la plataforma Arduino-Zigbee

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa o módulo netamente práctico y sencillo, el cual consta de un microcontrolador que dependerá del módulo o placa que se seleccione acorde con el propósito y funcionalidad que se le quiera dar dentro de la aplicación; de la misma manera todos los módulos de esta plataforma contiene un sin número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales, permitiéndole de esta manera interactuar con una muy amplia gama de sensores capaces de cubrir cualquier necesidad que se presente.

En cuanto a comunicaciones, Arduino cuenta con una variedad de módulos o shields Arduino que poseen diversas características y funcionalidades, permitiendo una comunicación amplia entre otros módulos Arduino, Shields y más, que complementan y satisfacen las comunicaciones de una manera sencilla y rápida.

Arduino permite la integración de los módulos Zigbee denominados módulos XBee, los cuales permiten intercambiar información entre nodos inalámbricos haciendo uso del protocolo Zigbee, dando de esta manera una transmisión segura, fiable, con una baja tasa de envío de datos, pero sobretodo maximizando la vida útil de sus baterías.

Arduino permite integrar a los módulos baterías externas, lo cual hace a las mismas tener una vida útil bastante amplia y duradera, dando así un funcionamiento continuo y sin contratiempos en los momentos indicados dentro de la ejecución de cualquier aplicación.

Por tal razón, Arduino dentro de las RSI, ha tomado un gran impulso, no solamente por estar en hardware y software libre y ser multiplataforma, sino también por su ambiente sencillo de programación, estructura, armado, compatibilidad, comunicación y variedad de opciones de diseño que la plataforma permite.

De tal manera que la plataforma hardware Arduino - Zigbee es una buena opción en cuanto a aplicaciones, funcionalidad, portabilidad, etc., debido a su fácil manipulación y completitud, a la hora de diseñar un proyecto que requiera las exigencias que esta plataforma permite. [36].

2.3.8 Información complementaria

A continuación se detalla información complementaria como: canales de distribución, precios, soporte e información de la plataforma Arduino.

- ✓ **Canales de distribución:** La plataforma Arduino es fabricada, distribuida y comercializada principalmente por la empresa Italiana SmartProjects [41], y ésta se encarga de proveer a todo el mundo. En Ecuador existen proveedores directos de ésta plataforma como las empresas: Digytronic [17], APM MICRO [21], ICMTechnology [26], ElectronicaJNC [22].

- ✓ **Precio:** El módulo Arduino Mega 2560 en el mercado nacional se encuentra a un precio de \$ 80 dólares y el Shield Arduino XBee a un precio de \$ 28 dólares [34].

- ✓ **Soporte técnico e información:** La plataforma Arduino cuenta con poca información acerca de la funcionalidad, administración, programación, control e integración de sus componentes, lo que hace un poco complicado al administrador dentro de una aplicación al momento de brindar asesoría y soporte técnico [8].

2.4 PLATAFORMA WASPMOTE

2.4.1 Descripción

Waspote es el resultado de dos años de investigación por parte de Libelium, empresa de diseño y fabricación de hardware para la implementación de redes sensoriales inalámbricas, redes malladas y protocolos de comunicación para todo tipo de redes inalámbricas distribuidas. El mayor reto de esta plataforma ha sido disminuir el consumo de los dispositivos al mínimo, mientras que se aumentaban sus posibilidades de comunicación y de integración de nuevos sensores. Un consumo de tan solo 0.7 micro

amperios en estado de reposo permiten a los nodos sensoriales vivir durante años ininterrumpidamente. Por otro lado, la integración de módulos de comunicación de alta sensibilidad, permiten una comunicación de varios kilómetros entre los dispositivos.

La idea final de la plataforma sensorial Waspote es que sea usada por empresas de todo el mundo de forma que puedan crear soluciones específicas en mercados verticales. Para ello, Libelium completa esta plataforma con una extensa documentación y ayuda técnica, de cara a facilitar el desarrollo de proyectos y nuevas plataformas de servicios por terceras empresas. Bajo el lema “Think, Develop, Go!”, Libelium intenta incentivar la creatividad del resto del mercado tecnológico y apoyar el surgimiento de nuevos productos y formas de negocio. [47].

2.4.2 Hardware

Waspote se basa en una arquitectura modular. La idea es integrar únicamente los módulos que se necesite en cada dispositivo y ser capaz de cambiar y ampliar según las necesidades.

Los módulos disponibles para integrar en Waspote se clasifican en:

- ✓ Módulos ZigBee/802.15.4 (2.4GHz, 868MHz, 900MHz). Baja y alta potencia.
- ✓ Módulo GSM/GPRS (Quadband: 850MHz/900MHz/1800MHz/1900MHz)
- ✓ Módulo 3G/GPRS (Tri-Band UMTS 2100/1900/900MHz y Quad-Band GSM/EDGE, 850/900/1800/1900 MHz)

- ✓ Módulo GPS
- ✓ Módulos Sensoriales (Placas de Sensores)
- ✓ Módulo de almacenamiento: SD Memory Card

2.4.2.1 Componentes y especificaciones

La Figura II.10 muestra el módulo Waspote con sus componentes principales de forma frontal y posterior.

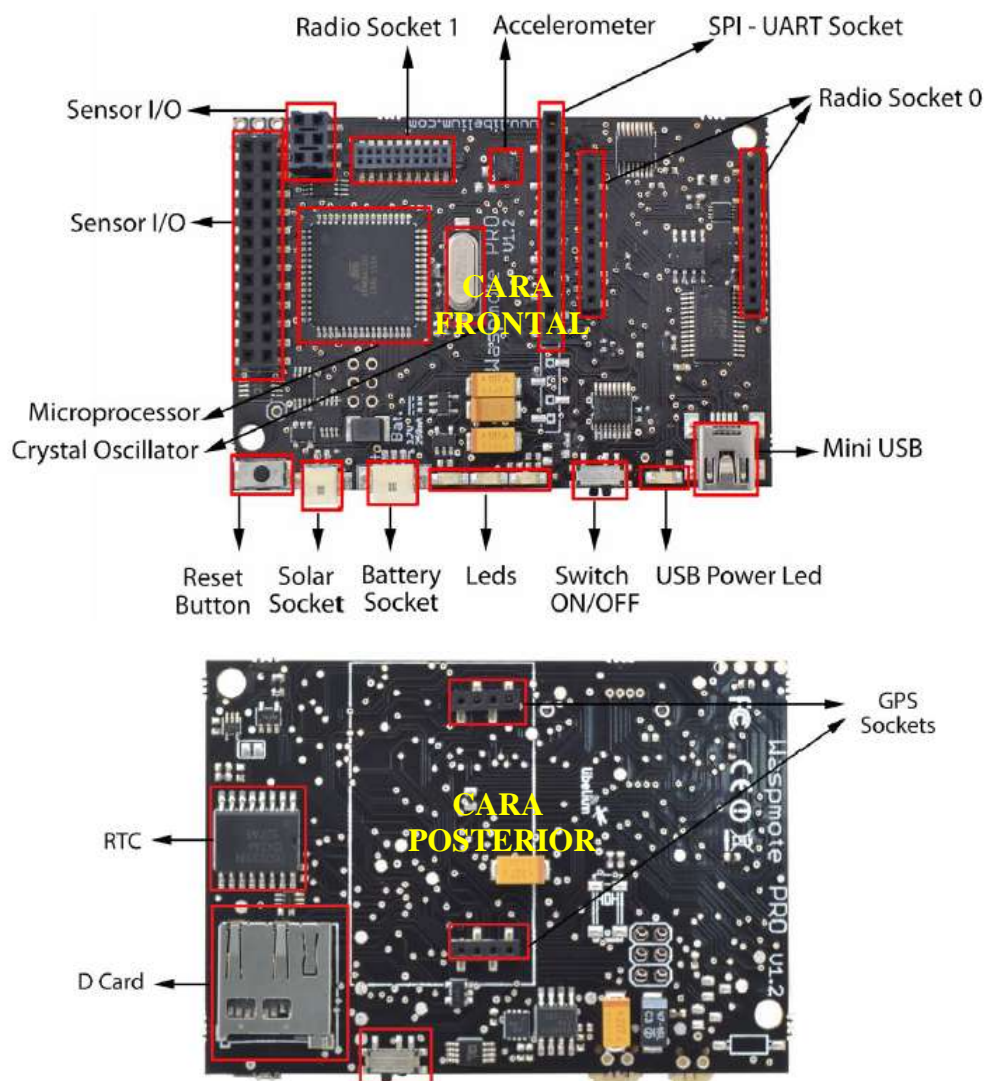


FIGURA II.10 Componentes principales del módulo Waspote

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

La Tabla II.XI presenta las especificaciones generales del módulo Waspote.

TABLA II.XI. Especificaciones del Módulo Waspote

ESPECIFICACIONES	
Microcontrolador	ATmega1281
Frecuencia	14.7456 MHz
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
FLASH	128KB
SD Card	2GB
Peso	20gr
Dimensiones	73.5 x 51 x 13 mm
Rango de Temperatura	[-10°C, +65°C]

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

2.4.2.2 Diagramas de bloques

La Figura II.11 muestra el diagrama de bloques de la transmisión de las señales de los datos que se producen en el módulo Waspote.

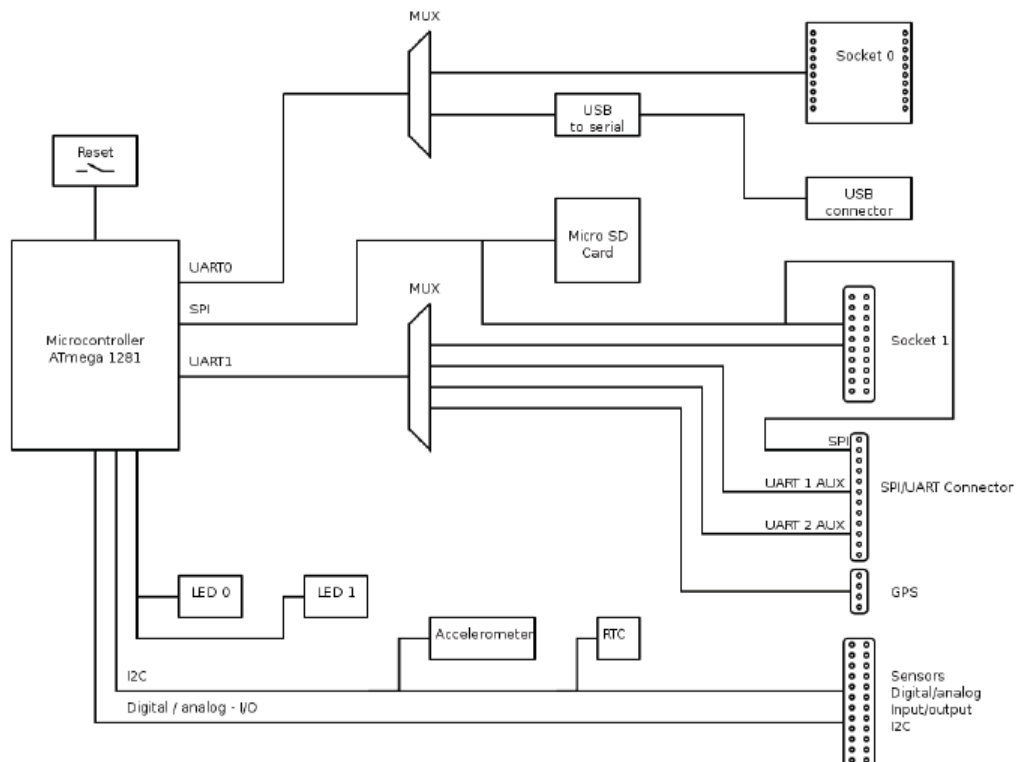


FIGURA II.11 Diagrama de transmisión de datos del módulo Waspote

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

La Figura II.12 muestra el diagrama de bloques de las señales de alimentación generadas en el módulo Waspote

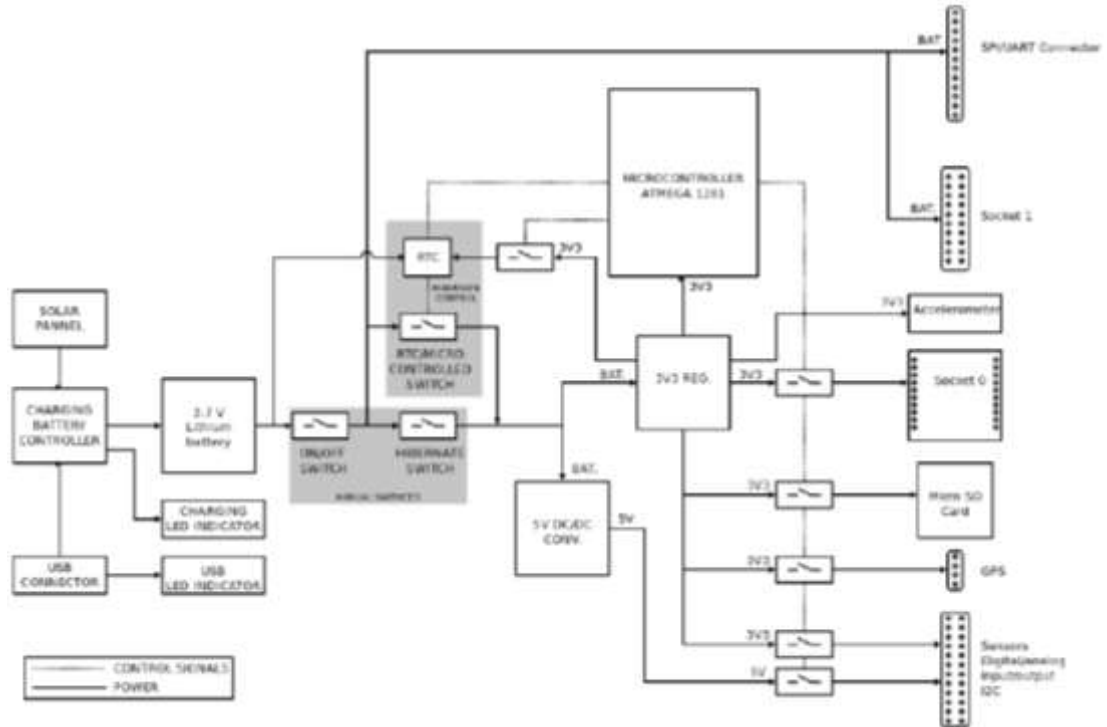


FIGURA II.12 Diagrama de transmisión de energía del módulo Waspote

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

2.4.2.3 Características eléctricas

En la Tabla II.XII se detallan las características eléctricas del módulo Waspote.

TABLA II.XII Características eléctricas del módulo Waspote

CARACTERÍSTICA	VALOR
Valores de funcionamiento	
Tensión de batería mínima de funcionamiento	3.3 V
Tensión de batería máxima de funcionamiento	4.2V
Tensión de carga USB	5 V
Tensión de carga placa solar	6 - 12 V
Corriente de carga de batería por USB	100 mA (max)
Corriente de carga de batería por placa solar	280 mA (max)

Valores máximos absolutos	
Tensión en cualquier pin	[-0.5 V, +3.8 V]
Corriente máxima por cualquier pin I/O digital	40 mA
Tensión de alimentación USB	7V
Tensión de alimentación placa solar	18V
Tensión de batería cargada	4.2 V

Fuente: <http://www.libelium.com/development/wasmote/documentation/wasmote-technical-guide/?action=download>

2.4.2.4 I/O

Wasmote puede comunicarse con otros dispositivos externos mediante los diferentes puertos de entrada/salida que posee. Los dispositivos con los que Wasmote se puede comunicar pueden ser cualquier sensor, componente o módulo electrónico siempre y cuando se respeten las especificaciones requeridas por cada puerto. Los puertos I/O que Wasmote tiene disponible en su módulo son los puertos I2C – UART y los puertos Sensor I/O, cuya descripción de la composición de estos se detallan en la Figura II.13.

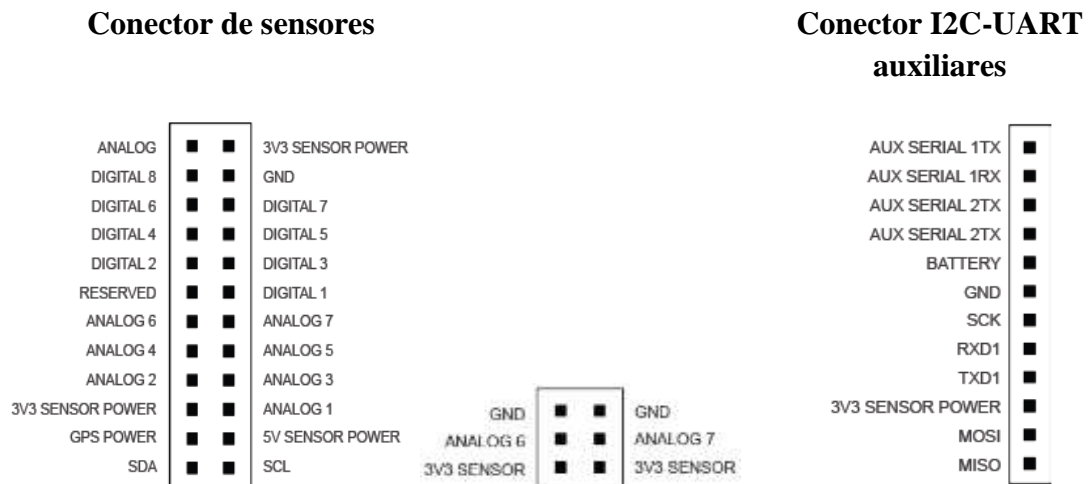


FIGURA II.13 Estructura de los puertos I/O del módulo Wasmote

FUENTE: <http://www.libelium.com/development/wasmote/documentation/wasmote-technical-guide/?action=download>

Waspote posee algunos puertos entradas/salidas con características muy diferenciadas, que permiten comunicarse de una u otra manera con otros dispositivos externos, a continuación se describen algunos de estos que permiten la comunicación con Waspote.

- ✓ **Analógicas:** Waspote dispone de 7 entradas analógicas accesibles en el conector de sensores. Cada una de las entradas está conectada directamente al microcontrolador. El microcontrolador utiliza un conversor analógico - digital (A/D) de aproximaciones sucesivas de 10 bits. El valor de tensión de referencia para las entradas es de 0V (GND). El valor máximo de tensión de entrada es de 3.3V que corresponde con la tensión de alimentación general del microcontrolador.
- ✓ **Digitales:** Waspote posee pines digitales que pueden ser configuradas como entradas o salidas en función de las necesidades de la aplicación. Los valores de tensión correspondientes a los diferentes valores digitales: 0V para el 0 lógico y 3.3V para el 1 lógico.
- ✓ **PWM:** El pin DIGITAL1 además puede usarse como salida PWM (Pulse Width Modulation) con el cual se puede “simular” una señal analógica.
- ✓ **UART:** La placa cuenta con 6 puertos UART: Una de las UART del microcontrolador está conectada simultáneamente al módulo de comunicación XBee y al puerto USB. La otra UART del microcontrolador está conectada a un multiplexor de cuatro canales, pudiendo seleccionar desde el código cuál de las cuatro nuevas UART

queremos conectar a la UART del microcontrolador. Estas cuatro nuevas UART están conectadas de la siguiente manera: Una está conectada a la placa GPRS, otra al GPS y las otras dos quedan accesibles al usuario en el conector I2C – UART auxiliares.

- ✓ **I2C:** En Waspote también se utiliza el bus de comunicación I2C, donde se conectan en paralelo tres dispositivos: el acelerómetro, el RTC y el potenciómetro que configura el nivel de threshold de alarma por batería baja. En todos los casos el microcontrolador actúa como maestro (master) mientras que el resto de los dispositivos conectados al bus actúan como esclavos (slave).

- ✓ **SPI:** El puerto SPI del microcontrolador se utiliza para la comunicación de éste con la tarjeta micro SD. Todas las operaciones de uso del bus son realizadas por la librería específica de forma transparente.

- ✓ **USB:** La comunicación USB se utiliza en Waspote para la comunicación con un ordenador o dispositivo compatible. Esta comunicación permite la carga del programa al microcontrolador y la comunicación de datos durante la ejecución del programa.

2.4.2.5 Leds

Waspote presenta varios Leds los cuales cumplen ciertas funciones específicas cuando se encuentra en funcionamiento tal como se presenta en la Figura II.14.

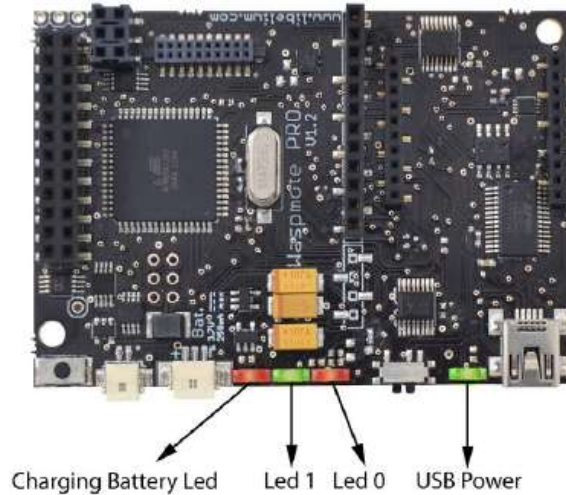


FIGURA II.14. Leds del módulo Waspote

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

La Tabla II.XIII presenta el detalle de los Leds del módulo Waspote.

TABLA II.XIII Leds del módulo Waspote

NOMBRE	PROGRA-MABLE	COLOR	DESCRIPCIÓN
Indicador de carga de batería	No	Rojo	Indica la existencia de una batería que está siendo cargada. Una vez que la batería está totalmente cargada el led se apaga automáticamente.
Led 1	Si	Verde	Indica cuando Waspote se resetea, emitiendo un parpadeo cada vez que se lleva a cabo un reset en la placa.
Led 0	Si	Rojo	Indica cuando Waspote está en funcionamiento
Indicador de conexión USB	No	Verde	Indica cuando Waspote está conectado a un puerto USB compatible bien para carga de batería o bien para programación.

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

2.4.3 Arquitectura y sistema

La arquitectura de Waspote se basa en el microcontrolador ATmega 1281 de Atmel.

Esta unidad de procesamiento arranca ejecutando un binario denominado “bootloader” que se

encarga de cargar en memoria parte de los programas y librerías compiladas y almacenadas previamente en la memoria flash, con la finalidad de que el programa principal que se ha creado pueda finalmente comenzar su ejecución.

Cuando se conecta Wasmote y se inicia el bootloader, existe un tiempo de espera (62.5 ms) antes de comenzar con la primera instrucción, tiempo que es utilizado para iniciar la actualización de los programas que se encuentran cargados en el caso de que estuviéramos cargando nuevos programas compilados. Si en ese tiempo se recibe un nuevo programa a través del USB, se procederá a cargarlo en la memoria flash (128KB) sustituyendo los programas que existieran. Por el contrario, si no se recibe un nuevo programa, se iniciará el último programa almacenado en memoria.

Una vez que tenemos un programa cargado en el microcontrolador, el funcionamiento de Wasmote se basa en el código que se ha cargado. La estructura de los códigos se divide en 2 partes fundamentales: un parte denominada “setup” y una parte llamada “loop”. Ambas partes del código tienen un comportamiento secuencial, ejecutándose las instrucciones en el orden establecido.

La parte llamada setup es la primera parte del código que se ejecuta, haciéndolo sólo una vez al iniciar el código. La parte denominada loop es un bucle que se ejecuta continuamente, formando un bucle infinito.

Cuando Wasmote es reseteado o encendido desde el estado OFF el código comienza de nuevo desde la función setup y posteriormente la función loop.

Por defecto, los valores de las variables declaradas en el código y modificadas en ejecución se perderán al producirse un reset o quedarse sin batería. Para almacenar valores de forma permanente es necesaria la utilización de la memoria no volátil EEPROM (4KB) del microcontrolador. Otra opción es el uso de la tarjeta SD de alta capacidad (2GB).

2.4.3.1 Timers

Wasmote utiliza un oscilador de cuarzo que trabaja a una frecuencia de 14.7456 MHz como reloj del sistema. De esta forma, cada 125 ns el microcontrolador ejecuta una instrucción de bajo nivel (lenguaje máquina).

Wasmote es un dispositivo preparado para trabajar en condiciones adversas en cuanto a términos de ruido y contaminación electromagnética, por ello, de cara a asegurar una comunicación estable en todo momento con los distintos módulos conectados por línea serie a las UART (XBee, GPRS, USB) se ha establecido una velocidad máxima de transmisión de 115200bps para XBee, GPRS y USB y 4800 para el GPS, de forma que la tasa de éxito en los bits recibidos sea del 100%. Dentro de los Timers Wasmote tenemos.

- ✓ **Watchdog.-** El microcontrolador Atmega 1281 tiene un reloj Watchdog interno mejorado (Enhanced Watchdog Timer – WDT). El WDT se encarga de contar de forma precisa ciclos de reloj generados por un oscilador de 128KHz. El WDT genera una señal de interrupción cuando el contador alcanza el valor establecido.

Esta señal de interrupción se puede utilizar para despertar al microcontrolador de un estado de Sleep o para generar una alarma interna cuando está en funcionamiento normal.

- ✓ **RTC.-** Wasmote dispone de un reloj en tiempo real (RTC) a 32KHz (32.768Hz) que permite establecer una base de tiempos absoluta para la utilización del dispositivo.

Podemos programar alarmas en el RTC especificando día/hora/minuto/segundo. Esto nos permite tener a Wasmote funcionando en los modos de máximo ahorro energético (DeepSleep e Hibernate) y hacer que se despierte justo en el momento que nos interese.

El RTC permite despertar al microcontrolador del estado de bajo consumo generando una interrupción. Por ello, se ha asociado al modo DeepSleep e Hibernate del microcontrolador, permitiendo poner a dormir el microcontrolador activando una alarma en el RTC para poder despertarlo. Los intervalos pueden ir desde los 8s en modo DeepSleep, hasta minutos, horas o incluso días en Hibernate.

2.4.3.2 Interrupciones

Las interrupciones son señales recibidas por el microcontrolador que le indican que debe abandonar la tarea que está realizando para atender a un evento que acaba de suceder. El control de interrupciones libera al microcontrolador de tener que estar encuestando en todo momento a los sensores y que sean estos los que avisen a Wasmote cuando se alcanza un determinado valor.

Waspote está creado para trabajar con 2 tipos de interrupciones: síncronas y asíncronas, como se especifica en la Tabla II.XIV.

TABLA II.XIV. Interrupciones del módulo Waspote

INTERRUPCIÓN	DESCRIPCIÓN
INTERRUPCIONES SÍNCRONAS	
Son las que programamos mediante los timers. Nos permiten programar cuándo queremos que se activen. Existen de 2 tipos de alarmas por temporizador: periódicas y relativas.	
Alarmas Periódicas	Son las que se pueden especificar en un momento concreto en el tiempo futuro, ejemplo: “ <i>Alarma programada para cada día 4 del mes a las 00:01 y 11 segundos</i> ”, (controlada por el RTC).
Alarmas relativas	Son programadas teniendo en cuenta el momento actual, ejemplo: “ <i>Alarma programada para dentro de 5 minutos y 10 segundos</i> ” (controlada por el RTC y el Watchdog interno del microcontrolador).
INTERRUPCIONES ASÍNCRONAS	
Son las que no sabemos cuándo se van a producir porque no están programadas.	
Sensores	Se pueden programar las placas de sensores para que cuando un sensor pasa de un determinado umbral se dispare una alarma.
Batería baja	Waspote tiene un circuito que controla en todo momento el nivel de batería que le queda, que permite avisar al centro de control de que uno de los nodos se está quedando sin batería.
Acelerómetro	Se puede programar el acelerómetro que tiene integrado Waspote para que determinados eventos tales como una caída o un cambio de dirección generen una interrupción.
Módulo GPRS	La recepción de una llamada, de un SMS o de datos genera una interrupción.

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

2.4.3.3 Sistema energético

Waspote tiene 4 modos de funcionamiento.

- ✓ **ON:** Es el modo normal de funcionamiento. El consumo en este estado es de 15mA

- ✓ **SLEEP:** El programa principal se detiene, el microcontrolador pasa a un estado de latencia, del que puede ser despertado por todas las interrupciones asíncronas y por la interrupción síncrona generada por el Watchdog. Ver Figura II.15. El intervalo de duración de este estado va de 32ms a 8s. El consumo en este estado es de 55µA.

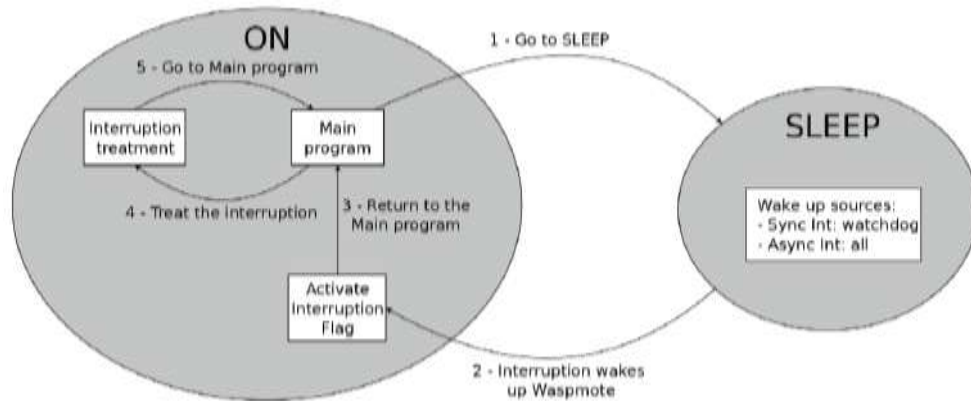


FIGURA II.15. Modo sleep del módulo Waspote

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

- ✓ **DEEP SLEEP:** El programa principal se detiene, el microcontrolador pasa a un estado de latencia del que puede ser despertado por todas las interrupciones asíncronas y por la interrupción síncrona lanzada por el RTC. Ver Figura II.16. El intervalo de este ciclo puede ir de 8 segundos a minutos, horas, días. El consumo en este estado es de 55µA.

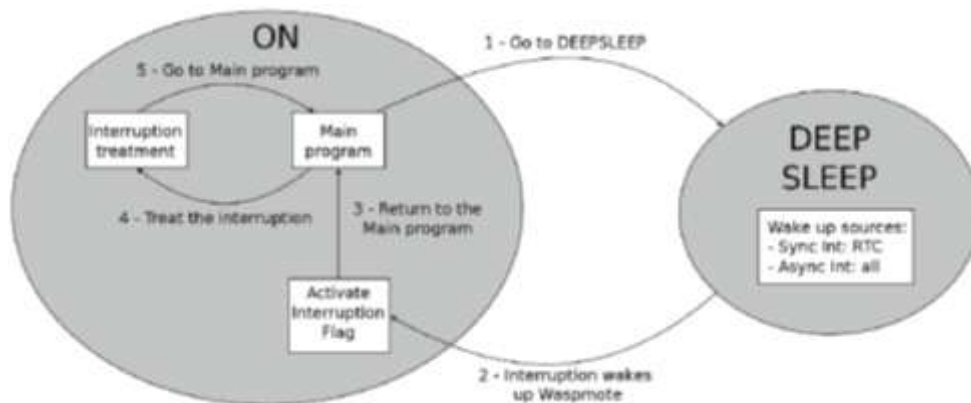


FIGURA II.16 Modo deepsleep del módulo Waspote

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

- ✓ **HIBERNATE:** El programa principal se detiene, el microcontrolador y todos los módulos de Waspote quedan completamente desconectados. La única forma de volver a activar el dispositivo es a través de la alarma previamente programada en el RTC (interrupción síncrona). Ver Figura II.17. El intervalo de este ciclo puede ir de 8 segundos a minutos, horas, días. Al quedar el dispositivo totalmente desconectado de la batería principal el RTC es alimentado a través de una batería auxiliar de la que consume $0,06\mu\text{A}$.

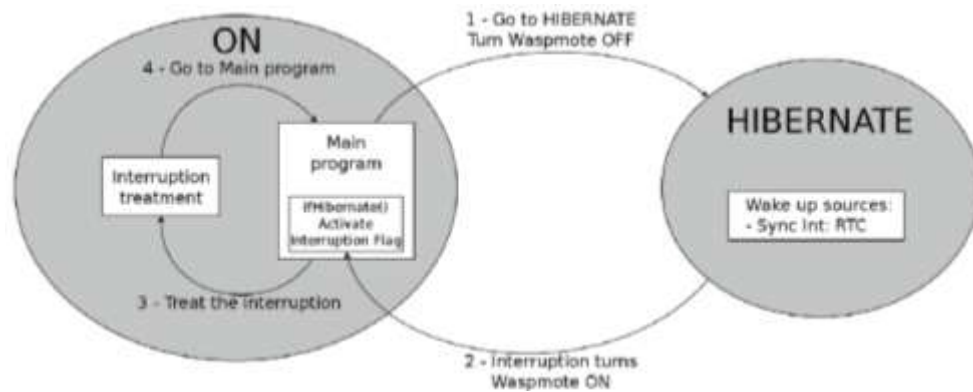


FIGURA II.17. Modo hibernate del módulo Waspote

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

El resumen de los modos de funcionamiento se presenta en la Tabla II.XV.

TABLA II.XV. Modos energéticos del módulo Waspote

MODOS	CONSUMO	MICRO	CICLO	INTERRUPCIONES
ON	15mA	ON	--	Síncronas y Asíncronas
Sleep	$55\mu\text{A}$	ON	32ms – 8s	Síncrona (Watchdog) y Asíncronas
DeepSleep	$55\mu\text{A}$	ON	1s – min/horas/días	Síncrona (RTC) y Asíncronas
Hibernate	$0.06\mu\text{A}$	OFF	1s – min/horas/días	Síncrona (RTC)

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

2.4.3.4 Sensores integrados

Wasmote integra algunos sensores dentro de su módulo que se detalla a continuación:

- ✓ **Temperatura:** El RTC de Wasmote tiene integrado un sensor interno de temperatura que utiliza para recalibrarse. El rango de temperaturas que se pueden medir está comprendido entre -40°C y $+85^{\circ}\text{C}$. El sensor está preparado para medir la temperatura de la propia placa y poder así compensar cambios en las oscilaciones del cristal de cuarzo que usa como reloj.

- ✓ **Acelerómetro:** Wasmote tiene integrado el sensor de aceleración que permite la medición de la aceleración en los 3 ejes (X, Y, Z), estableciendo 4 tipos de eventos: caída libre (Free Fall), levantamiento por inercia, movimiento y posicionamiento. De esta forma, se pueden realizar acciones como despertar al mote cuando se produce uno de los eventos y realizar la acción asignada a tal efecto.

2.4.3.5 Sensores externos

Wasmote ha sido diseñado con el propósito de facilitar la integración de manera sencilla tanto de sensores (inputs) como de actuadores (outputs) que permitan extender el ya de por sí amplio abanico de respuestas del mote. Éstos se conectan a la placa a través de los conectores, permitiendo la comunicación de 16 señales de entrada y salida digitales, de las cuáles 7 pueden utilizarse como entradas analógicas y 1 como señal de salida PWM, además de línea de tierra, alimentaciones de 3.3V y 5V, 2 conexiones a entradas y salidas

de comunicación serie (UART), permitiendo ampliamente integrar varios sensores al módulo Wasmote de diferentes características, requerimientos y funcionalidades.

En el módulo Wasmote la lectura de los sensores puede generar tres tipos de respuesta: almacenamiento de la información recogida (en la tarjeta SD), transmisión inalámbrica de los datos (a través de una señal de radiofrecuencia mediante el módulo XBee o a través de la red de comunicaciones móviles mediante el módulo GPRS) o actuación de manera automática, a través de un actuador controlado mediante las señales de salida del microprocesador de manera directa o a través de un interruptor o un relé.

2.4.3.6 Alimentación

Wasmote dentro de los conectores de sensores también dispone de varios pines de alimentación, los mismos que se detallan en la Tabla II.XVI.

TABLA II.XVI. Pines de alimentación del módulo Wasmote

NOMBRE	TENSIÓN	SOPORTE MÁXIMO
SENSOR POWER	3.3V	200 mA
5V SENSOR POWER	5V	200 mA
GPS POWER	3.3V	200 mA
GND	Toma de conexión a tierra.	

Fuente: <http://www.libelium.com/development/wasmote/documentation/wasmote-technical-guide/?action=download>

2.4.4 Wasmote Gateway

La plataforma Wasmote también dispone dentro de sus dispositivos un interactuador del módulo Wasmote con un computador llamado Wasmote Gateway, este dispositivo permite obtener los datos que circulan por la red sensorial en un PC o dispositivo con un

puerto USB estándar. Wasmote Gateway actúa como un “puente de datos o puerta de acceso” entre la red sensorial y el equipo receptor.

Este equipo receptor se encargará de almacenar o utilizar los datos recibidos en función de las necesidades de la aplicación en concreto.

Una vez que el gateway está correctamente instalado, en el equipo receptor aparece un nuevo puerto serial de comunicación conectado directamente a la UART del módulo XBee, que nos permitirá comunicar directamente el XBee con el dispositivo, permitiendo recibir los paquetes de datos de la red sensorial así como modificar y/o consultar los parámetros de configuración del XBee. En la figura II.18, se puede visualizar el módulo Wasmote Gateway (A) y los leds y pulsadores contenidos en el mismo (B).

(A) Módulo Wasmote Gateway

(B) Leds y Pulsadores

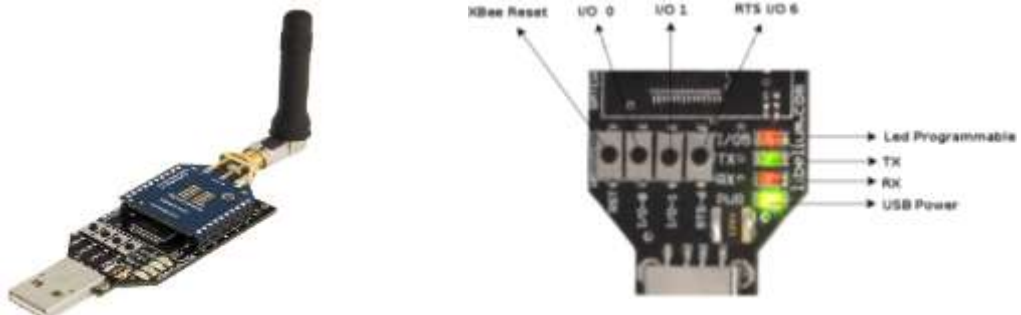


FIGURA II.18. Gateway Wasmote

Fuente: <http://www.libelium.com/development/wasmote/documentation/wasmote-technical-guide/?action=download>

La Tabla II.XVII. presenta la funcionalidad de los leds y pulsadores del Gateway Waspote.

TABLA II.XVII. Leds y pulsadores del gateway Waspote

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
LEDS	
Led de alimentación USB	Indica que la placa está alimentada mediante el puerto USB
Led RX	Indica que la placa está recibiendo datos atreves del módulo XBee
Led TX	Indica que la placa está enviando datos atreves del módulo XBee
Led I/O 5	Se puede configurar como salida digital o como indicador de asociación del XBee a la red sensorial.
PULSADORES	
Reset	Permite resetear el módulo XBee
I/O – 0	Pulsador conectado al pin I/O 0 del XBee.
I/O – 1	Pulsador conectado al pin I/O 1 del XBee.
RTS - I/O – 6	Pulsador conectado al pin I/O 6 del XBee.

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-technical-guide/?action=download>

2.4.5. Software y programación

Para empezar con Waspote el primer paso es instalar el IDE Waspote PRO V.03, el mismo que es un compilador idéntico al usado en la plataforma Arduino siguiendo el mismo estilo de librerías y funcionamiento.

El IDE-Waspote incluye todas las librerías API necesarias para compilar los programas y para ejecutar con éxito la compilación del código. Por otro lado Waspote para la programación utiliza el concepto de Programación Inalámbrica, comúnmente conocida como Programming Over the Air (OTA), se ha estado usado en los últimos años para la reprogramación de dispositivos móviles principalmente, como los teléfonos móviles. Sin embargo, con el nuevo concepto de las Redes Sensoriales Inalámbricas (RSI), donde las

redes están formadas por cientos o miles de nodos, la tecnología OTA ha tomado un nuevo camino, y por primera vez se aplica usando bandas de frecuencia que no requieren licencia (2.4GHz, 868MHz, 900MHz) con bajo consumo y baja tasa de transmisión, usando protocolos como son 802.15.4 y ZigBee.

La estructura del código se divide en 2 funciones básicas: setup y loop. El setup es la primera parte del código, que sólo se ejecuta una vez cuando se inicializa el código (o Wasmote se reinicia). Por otra parte, el loop se ejecuta de forma continua, formando un bucle infinito, el objetivo de esta función es medir, enviar la información y ahorrar energía mediante la introducción de un estado de bajo consumo. [25].

La estructura general de un programa se esquematiza a continuación.

```
// 1.Inclusión Bibliotecas
// 2.Definiciones
// 3.Declaración de variables globales
void setup ()
{
    // 4.Módulos de inicialización
}
void loop ()
{
    // 5.Medir
    // 6.Enviar información
    // 7.WasmoteSleep
}
```

2.4.6 Equipamiento Wasmote – Zigbee

Wasmote integra los módulos XBee de Digi para comunicación en bandas de frecuencia libre ISMB. Estos módulos se comunican con el microcontrolador utilizando la UART_0 a una velocidad de 115200bps. Dentro de la existencia de módulos XBee distribuidos por

Libelium para su integración con Wasmote se encuentran los módulos Zigbee, permitiendo la comunicación Wasmote-Xbee-Zigbee.

Para la integración de Zigbee en Wasmote existen dos módulos Xbee (XBee ZB y XBee Pro ZB), permitiendo de esta manera formar un nodo sensor inalámbrico mediante el protocolo de comunicaciones Zigbee, como se visualiza en la Figura II.18.



FIGURA II.19 Nodo Wasmote Zigbee






Fuente: <http://www.libelium.com/development/wasmote/documentation/wasmote-technical-guide/?action=download>

2.4.7 Equipamiento Wasmote

Wasmote dispone en la actualidad de nueve placas sensoriales de integración exclusivamente y propias de la plataforma que permite la implementación de aplicaciones con requerimientos específicos de monitoreo [33]. La Tabla II.XVIII, muestra las especificaciones de las placas sensoriales compatibles con la plataforma Wasmote.

TABLA II.XVIII. Placas sensoriales Waspmote

N°	NOMBRE	APLICACIONES	SENSORES	IMAGEN
1	GASES	Detecciones de <ul style="list-style-type: none"> • Polución • Contaminación • Control de procesos químicos e industriales • Incendios forestales 	<ul style="list-style-type: none"> • Monóxido de Carbono - CO • Dióxido de Carbono - CO2 • Oxígeno - O2 • Metano - CH4 • Hidrógeno - H2 • Amoniaco - NH3 • Etanol - CH3CH2OH • Dióxido de Nitrógeno - NO2 • Hidrocarburos - COV • Temperatura • Humedad • Presión atmosférica 	
2	EVENTS	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad • Efecto Hall • Detección de personas • Detección de presencia, nivel de agua y temperatura • Control de logística en mercaderías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presión / Peso • Inclinación • Efecto Hall • Temperatura (+ / -) • Presencia de líquidos • Nivel de Líquido • Flujo de líquido • Luminosidad • Presencia 	
3	SMART CITIES	<ul style="list-style-type: none"> • Detector de grietas • Calidad de aire • Detección de nivel de partículas y polvo en el aire • Medición de nivel de basura en contenedores para optimización de rutas de recolección • Mapas de ruido • Monitoreo de la ciudad 	<ul style="list-style-type: none"> • Micrófono • Indicador de detección de grietas • Indicador de la propagación de grietas • Desplazamiento Lineal • Polvo - PM-10 • Ultrasonido (medición de distancia) • Temperatura • Humedad • Luminosidad 	
4	SMART PARKING	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de vehículos para disponible información sobre el estacionamiento • Detección de plazas de aparcamiento gratuito al aire libre • Control de estacionamiento paralelo y perpendicular 	<ul style="list-style-type: none"> • Campo magnético • Temperatura 	

5	AGRICULTURE	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultura de precisión • Sistemas de Riego • Humedad • Invernaderos • Radiación solar, la • • Temperatura • Estaciones meteorológicas • Anemómetro, veleta, pluviómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura: aire, suelo • Humedad • Presión atmosférica • Radiación Solar • Radiación Ultravioleta • Diámetro del tronco, vástago, fruta • Anemómetro • Veleta • Pluviómetro • Luminosidad 	
6	VIDEO CAMERA	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad y vigilancia • Toma de fotos (640 x 380) • Grabación de vídeo (320 x 240) • Video llamadas en tiempo real utilizando la red 3G • Modo de visión nocturna 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de imagen • Luminosidad • Infrarrojos • Sensor de presencia 	
7	RADIATION	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles de radiación • Control de radiación y prevención • Medición de la cantidad de radiación en áreas específicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Tubo Geiger [β, γ] (Beta y Gamma) 	
8	SMART METERING	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de Energía • Consumo de agua • Detección de fugas de tuberías • Gestión de almacenamiento de líquidos • Control de Tanques • Automatización Industrial • Riego Agrícola 	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente • Flujo de agua • Nivel de líquido • Célula de carga • Ultrasonido • Temperatura • Humedad • Luminosidad 	
9	SMART WATER	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de agua • Detección de químicos y físicos. • Salinidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores de medición de: pH, nitratos (NO₃), fosfatos, iones disueltos (Na +, Ca +, F-, Cl, Vr-, I-Cu²⁺, K +, Mg²⁺, NO₃-) oxígeno disuelto (OD), conductividad, potencial de oxidación-reducción (ORP), temperatura 	

Fuente: <http://www.libelium.com/development/waspmote/documentation/waspmote-technical-guide/?action=download>

2.4.8 Análisis de la plataforma Wasmote - Zigbee

Wasmote – Zigbee es una plataforma de hardware, diseñada y fabricada por la empresa Libelium, enfocada a disminuir el consumo energético de los dispositivos al mínimo y aumentar las posibilidades de comunicación e integración de nuevos sensores.

Wasmote, posee varios puertos de entradas y salidas, entre digitales y analógicas, lo que permite una integración más amplia entre placas y sensores, que se pueden ajustar a los requerimientos según el campo de aplicación que se establezca. Además, posee una fuente de alimentación interna dentro de su placa, así como también se puede integrar una fuente de alimentación externa, permitiendo mayor durabilidad y estabilidad energética.

Además, presenta varias alternativas de almacenamiento de información, como la integración de una SD Card en su módulo, lo que permite expandir mayor capacidad de almacenamiento y gestión de memoria.

Wasmote dentro de su estructura tiene ya diseñado los pines para la integración de los módulos para la comunicación inalámbrica Xbee, lo que permite la comunicación entre los módulos Wasmote mediante el protocolo de comunicaciones Zigbee.

La plataforma Wasmote – Zigbee es una arquitectura sólida, orientada a disminuir los consumos al máximo, dando una mejor alternativa de comunicación y ampliando las alternativas de usos de integración de sensores y dispositivos, permitiendo cumplir con todas las expectativas de los usuarios al momento de diseñar sus proyectos y aplicaciones.

[24].

2.4.9 Información complementaria

A continuación se detalla información complementaria como: canales de distribución, precios, soporte e información de la plataforma Waspnote.

- ✓ **Canales de distribución:** La plataforma Waspnote actualmente es distribuida y comercializada por la empresa Libelium, ofreciendo sus servicios únicamente desde su país de residencia España – Zaragoza a través de su tienda Cooking Hacks. [13].

- ✓ **Precio:** El módulo Waspnote se encuentra en el mercado internacional a un precio de \$ 92 euros (1,30 a 1,31 dólares = 1 euro) equivalente aproximadamente a USD. 120 dólares [35].

- ✓ **Soporte técnico e información:** La plataforma Waspnote de Libelium, cuenta con una extensa gama de catálogos y documentación propias de la plataforma, lo que hace más fácil poder conocer su funcionalidad, administración, programación, mantenimiento, control e integración de sus componentes, los mismos que pueden ser descargados gratuitamente desde su página web oficial, así como también el soporte técnico en línea y foros que ofrece la empresa. [42][23].

2.5 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

2.5.1 Enfoque

La evaluación de rendimiento de las plataformas Arduino y Waspote tiene el enfoque de evaluar las dos plataformas a nivel de hardware, rendimiento, precios, soporte técnico e información disponible, así como los componentes y accesorios que existen y se pueden integrar para la implementación de una RSI para solucionar problemas de la vida real aprovechando al máximo las bondades y beneficios de las plataformas.

Es así que la evaluación de rendimiento proporcionará una guía para los desarrolladores que permita seleccionar la plataforma más adecuada de acuerdo al tipo de aplicación que se quiera implementar considerando los aspectos descritos anteriormente.

2.5.2 Proceso de evaluación

Para realizar la evaluación de las plataformas se construirá un prototipo de las plataformas Arduino y Waspote, donde los equipos de la RSI deberán ser de características semejantes y que se encuentren disponibles en el mercado, los mismos que serán sometidos a las pruebas en iguales condiciones.

Una vez obtenidos los datos de las pruebas y mediciones respectivas se realizará la evaluación de las plataformas.

2.5.3 Descripción de los parámetros a evaluar

- ✓ **Hardware:** Se realizará la evaluación de las características de los principales componentes hardware que forman parte de la plataforma, tales como: microcontrolador, I/O analógicas y digitales, memorias, canales sensores, etc., de cada una de las plataformas.

- ✓ **Disponibilidad:** Se medirá y evaluará la disponibilidad que las plataformas ofrecen mediante el envío de paquetes proporcional a un intervalo de tiempo, comprometiendo la disponibilidad de sus componentes operacionales tanto hardware como software.

- ✓ **Alcance:** Se medirá, comparará y evaluará el alcance de comunicaciones que cada plataforma ofrece mediante el envío de paquetes en un ambiente externo con visión directa.

- ✓ **Consumo de energía:** Se medirá y evaluará el consumo energético de cada plataforma en los modos: normal y sleep (dormido), el cual permitirá medir la eficiencia energética que poseen los nodos, permitiendo la optimización y correcta funcionalidad de sus componentes.

- ✓ **Procesamiento y transmisión de datos:** Se medirá y evaluará el procesamiento, transmisión y recepción de datos en relación a un intervalo de tiempo dado a una

distancia determinada para verificar el desempeño de la estructura y componentes que posee cada una de las plataformas.

- ✓ **Precio:** Se comparará y evaluará los precios de adquisición de los módulos de las plataformas que se encuentran en el mercado.

- ✓ **Canales de distribución:** Se comparará y evaluará la existencia de canales de distribución de las plataformas, la cual permitirá definir la facilidad de adquisición de los productos de las plataformas dentro del mercado.

- ✓ **Aplicación, componentes y accesorios:** Se evaluará los diferentes componentes de integración con los que cuenta cada una de las plataformas, con el fin de garantizar su correcta funcionalidad y operabilidad dentro del campo de las RSI.

- ✓ **Soporte técnico e información:** Se evaluará el soporte técnico e información que cada plataforma ofrece a los usuarios ante la solución de problemas.

2.5.4 Niveles de evaluación

La evaluación de las plataformas en sus diferentes aspectos se realizará mediante el método de evaluación por escalas [30], basado en tres niveles que permitan dar una valoración de la evaluación de las plataformas.

La Tabla II.XIX., presenta los niveles de evaluación a utilizarse.

TABLA II.XIX. Niveles de evaluación

EVALUACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Menor
2	Igual
3	Mayor

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

2.5.5 Parámetros de evaluación

La Tabla II.XX., presenta la descripción de las mediciones y de los parámetros de evaluación a considerar para el presente trabajo de investigación.

TABLA II.XX. Parámetros de evaluación

No.	MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN	EVALUACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN	RESULTADO
1	Hardware	<p>Se compararán las características de las placas de las plataformas Arduino (Arduino Mega 2560) y Wasmote PRO V 1.2. Se establece los rangos para la evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menor característica - Igual característica - Mayor característica <p>La información para realizar la evaluación del Hardware se obtendrá de: Ítem 2.3 e Ítem 2.4.</p>	1	Menor característica	Comparativo de las características de las placas
			2	Igual característica	
			3	Mayor característica	
2	Disponibilidad	<p>Se realizarán pruebas de envío de paquetes cada minuto durante 10 días. El total de paquetes a enviar serán 14400. Se establece los rangos para la evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menor % de paquetes recibidos - Igual % de paquetes recibidos - Mayor % de paquetes recibidos <p>La información para realizar la evaluación de la disponibilidad se obtendrá de las mediciones realizadas con el prototipo.</p>	1	Menor % de paquetes recibidos	Se contabilizará el número de paquetes recibidos
			2	Igual % de paquetes recibidos	
			3	Mayor % de paquetes recibidos	
3	Alcance	<p>Se realizarán pruebas para medir el alcance de la señal de los módulos en un ambiente exterior libre de obstrucción. De acuerdo al alcance de los módulos ZigBee Pro S2 el alcance es de 1500 – 3200 metros [49]. Se establece los rangos para la evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menor alcance - Igual alcance - Mayor alcance <p>La información para realizar la evaluación del alcance se obtendrá de las mediciones realizadas con el prototipo.</p>	1	Menor alcance	Se obtendrá el alcance de los módulo
			2	Igual alcance	
			3	Mayor alcance	
4	Consumo de energía	<p>Se medirán y evaluará los consumos de energía de los nodos en modo ON y SLEEP. Se realizaran dos mediciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consumo de placas - Consumo de placas + módulo ZigBee <p>Se establecen los rangos para la evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mayor consumo - Igual consumo - Menor consumo <p>La información para realizar la evaluación del Consumo de Energía se obtendrá de las mediciones realizadas con el prototipo.</p>	1	Mayor consumo	Consumo de energía de los nodos
			2	Igual consumo	
			3	Menor consumo	
5	Procesamiento y transmisión de datos	<p>Se realizarán pruebas de envío de paquetes cada 1 y 0,1 segundos, durante el tiempo de diez minutos a una distancia de 10 metros entre el nodo y el gateway. Se establecen los rangos para la evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menor % de paquetes recibidos - Igual % de paquetes recibidos - Mayor % de paquetes recibidos <p>La información para realizar la evaluación del Procesamiento y transmisión de datos se obtendrá de las mediciones realizadas con el prototipo.</p>	1	Menor % de paquetes recibidos	% de paquetes recibidos.
			2	Igual % de paquetes recibidos	
			3	Mayor % de paquetes recibidos	
6	Precios	<p>Se compararán los precios de las placas necesarias para la implementación de un nodo que soporte los módulos ZigBee de las plataformas Arduino y Wasmote. Se establece los rangos para la evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mayor precio - Igual precio - Menor precio <p>La información para realizar la evaluación de los Precios se obtendrá de: Ítem 2.3.8 e Ítem 2.4.8.</p>	1	Mayor precio	Comparativo de los precios de las placas.
			2	Igual precio	
			3	Menor precio	

7	Canales de distribución	<p>Se clasificará y evaluará los canales de distribución de las plataformas. Se establece los rangos para la evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menor número de canales de distribución - Igual número de canales de distribución - Mayor número de canales de distribución <p>La información para realizar la evaluación de los precios se obtendrá de: Ítem 2.3.8 e Ítem 2.4.8.</p>	1	Menos canales de distribución	Canales de distribución
			2	Igual canales de distribución	
			3	Más canales de distribución	
8	Aplicación, componentes y accesorios	<p>Se evaluará hacia que tipo de escenarios se encuentra orientada la plataforma para la solución de problemas, por lo que se establece evaluar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aplicaciones, en las que se puede implementar la plataforma - Componentes y Accesorios, existentes en el mercado y compatibles con la plataforma para la implementación de soluciones. <p>Se establece los rangos para la evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menor número de aplicaciones y/o accesorios - Igual número de aplicaciones y/o accesorios. - Mayor número de aplicaciones y/o accesorios. <p>La información para realizar la evaluación de las aplicaciones, componentes y accesorios se obtendrá de: Ítem 2.3.8 e Ítem 2.4.8</p>	1	Menor número de aplicaciones	Aplicación y componentes
			2	Igual número de aplicaciones	
			3	Mayor número de aplicaciones	
9	Soporte Técnico e información	<p>Se evaluará el soporte técnico e información que proporciona cada plataforma ante la solución de inconvenientes en niveles: básico, avanzado y personalizado. Se han definido tres niveles para la evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menor soporte técnico e información - Igual soporte técnico e información - Mayor soporte técnico e información <p>La información para realizar la evaluación de las aplicaciones, componentes y accesorios se obtendrá de: Ítem 2.3.8 e Ítem 2.4.8 y de acuerdo a lo constatado durante la implementación del prototipo.</p>	1	Menor soporte e información	Soporte técnico e información
			2	Igual soporte e información	
			3	Mayor soporte e información	

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

CAPÍTULO III.

IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO PARA ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS PLATAFORMAS

3.1 INTRODUCCIÓN

Las redes de sensores inalámbricos (RSI) en la actualidad presentan un sin número de aplicaciones y funcionalidades dependiendo de las prestaciones que cada una de las plataformas ofrece, permitiendo implementarlas en varios campos de trabajo, incluyendo lugares cuyas condiciones ambientales son extremas, que al ser humano se le hace imposible operar de una manera adecuada y eficaz.

Por tal razón, el presente capítulo tiene como finalidad realizar un análisis de las plataformas Arduino y Waspote, mediante la construcción de un prototipo que permita evaluar su composición de hardware, alcance de comunicaciones, consumo energético, adquisición y procesamiento de datos, funcionalidad y demás parámetros establecidos.

Mediante el análisis se podrá determinar el rendimiento, facilidades y bondades que cada plataforma ofrece como un mecanismo de selección de la plataforma que mejor se acople para construir aplicaciones reales con requerimientos específicos.

3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

3.2.1 Descripción

El presente apartado tiene como finalidad dar a conocer el análisis, diseño, implementación y pruebas realizadas en la construcción del prototipo de la red de sensores inalámbrico basado en las plataformas Arduino y Waspote bajo el protocolo de comunicaciones ZigBee.

3.2.2 Requerimientos

Los requerimientos generales para la construcción del prototipo son:

- ✓ Se requiere implementar un prototipo de una red de sensores inalámbricos basado en las plataformas Arduino y Waspote que permita realizar una evaluación de estas dos plataformas.

- ✓ El prototipo tendrá la capacidad de medir factores ambientales en tiempo real, a través de sus nodos y transmitir la información a través del protocolo de comunicaciones ZigBee.

- ✓ El prototipo deberá tener la capacidad de permitir presentar la información en tiempo real así como de almacenar la información en una base de datos para la generación de reportes de la información histórica.

- ✓ Se deberá diseñar una interfaz web, que permita visualizar la información obtenida de la red de sensores inteligentes así como de la generación de reportes.

- ✓ El diseño del prototipo, además de permitir la evaluación de las plataformas deberá proporcionar información sobre las RSI y orientado para visualizar la información para la Unidad de Negocio Hidroagoyán de CELEC EP.

- ✓ El prototipo deberá ser implementado considerando utilizar herramientas, aplicaciones, bases de datos, entornos de desarrollo y software de libre distribución.

3.2.3 Componentes y Funcionamiento

El prototipo estará formado por dos nodos finales y un Gateway los mismos que serán configurados para trabajar basado en una topología en estrella.

Los nodos serán implementados, uno basado en plataforma Arduino y otro en plataforma Waspote, los mismos que para la interconexión de la RSI utilizarán un mismo Gateway. Para la implementación del nodo basado en plataforma Arduino se utilizará el módulo Arduino Mega 2560, mientras que para el nodo Waspote se utilizará el módulo Waspote ZB Pro V1.2, los mismos que fueron seleccionados por poseer características

similares y se encuentran disponibles en el mercado, de igual manera para la comunicaciones de los nodos se utilizarán módulos XBee Zigbee Pro S2.

El funcionamiento de la RSI será de la siguiente manera:

Los nodos finales de la RSI tanto para la plataforma Arduino y Waspnote serán los encargados de sensar los datos obtenidos por los dispositivos de medición, para posteriormente ser procesados y a través del módulo de comunicaciones mediante el uso del protocolo de comunicaciones ZigBee enviar los datos hacia el Gateway, donde los datos serán recibidos y almacenados en la base de datos para posteriormente ser visualizados a través de la aplicación web.

3.2.4 Diseño

3.2.4.1 Diseño de la RSI

El diseño de la RSI para la implementación del prototipo se presenta en la Figura III.20.

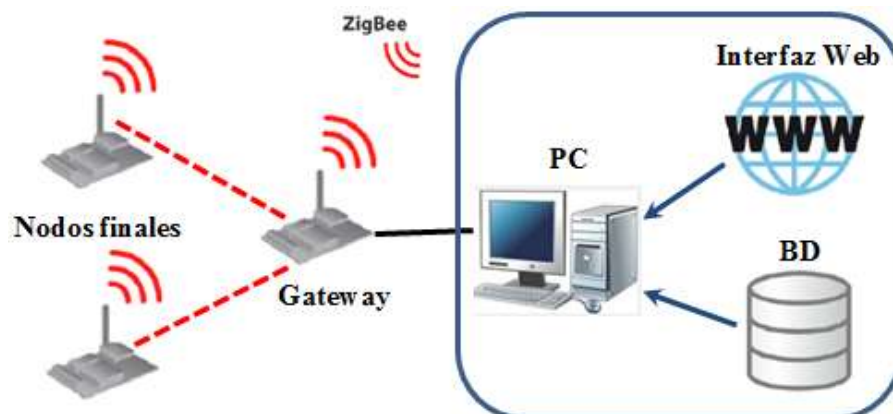


FIGURA III.20 Diseño del prototipo de la RSI
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

3.2.4.2 Diseño de interfaces

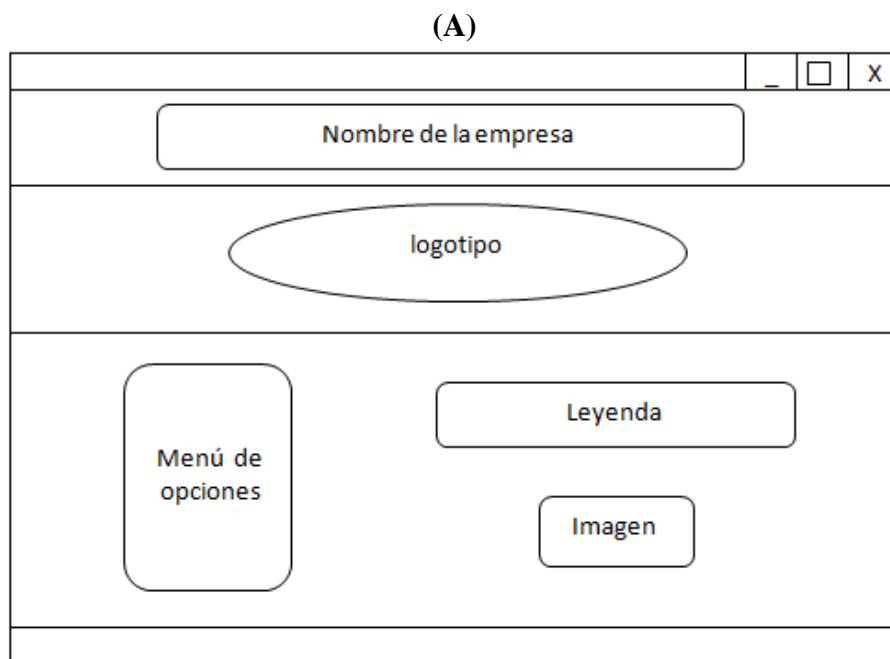
Contempla el diseño de las interfaces de la aplicación web que se utilizará para presentar la información de la RSI, la descripción de las interfaces se presenta en la Tabla III.XXI.

TABLA III.XXI. Descripción de interfaces.

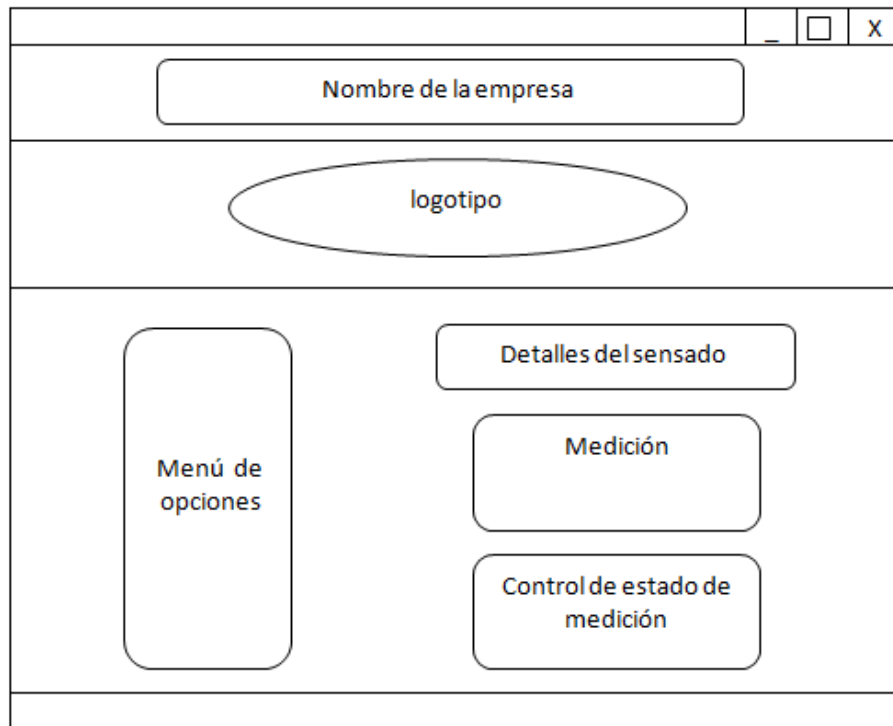
No.	ID	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	A	Pantalla principal	Interface de inicio de la aplicación web
2	B	Sensado de datos	Interface que permite visualizar en tiempo real los datos sensados por la RSI.
3	C	Reporte	Interface que permite visualizar la información histórica de la RSI.
4	D	Información	Interfaces que presentan información sobre las RSI, plataformas Arduino y Waspnote, CELEC EP.

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

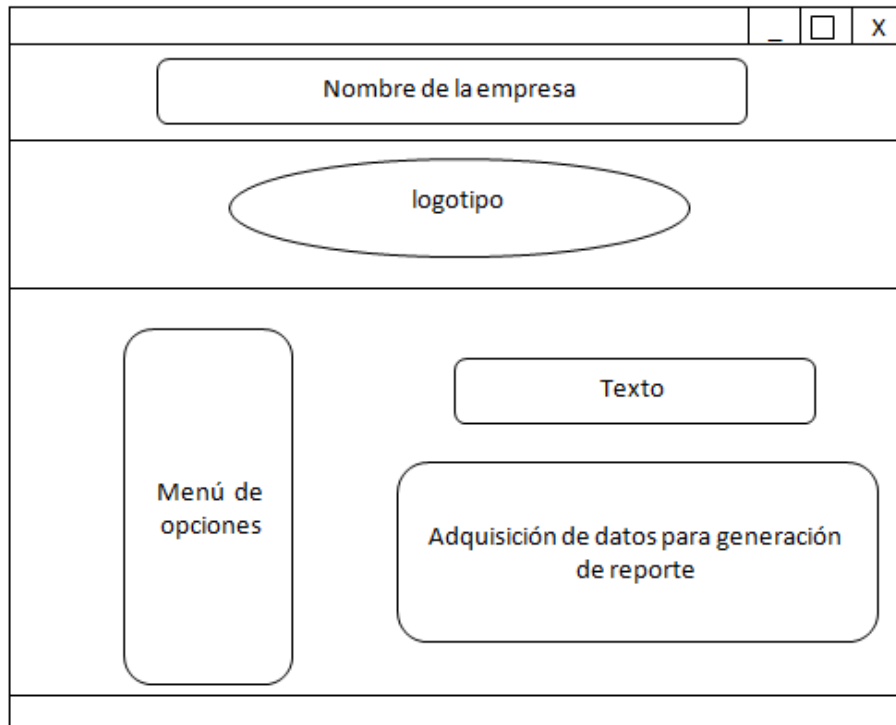
El diseño de las interfaces web que se utilizará para la presentación de la información se presenta en la Figura III.21.



(B)



(C)



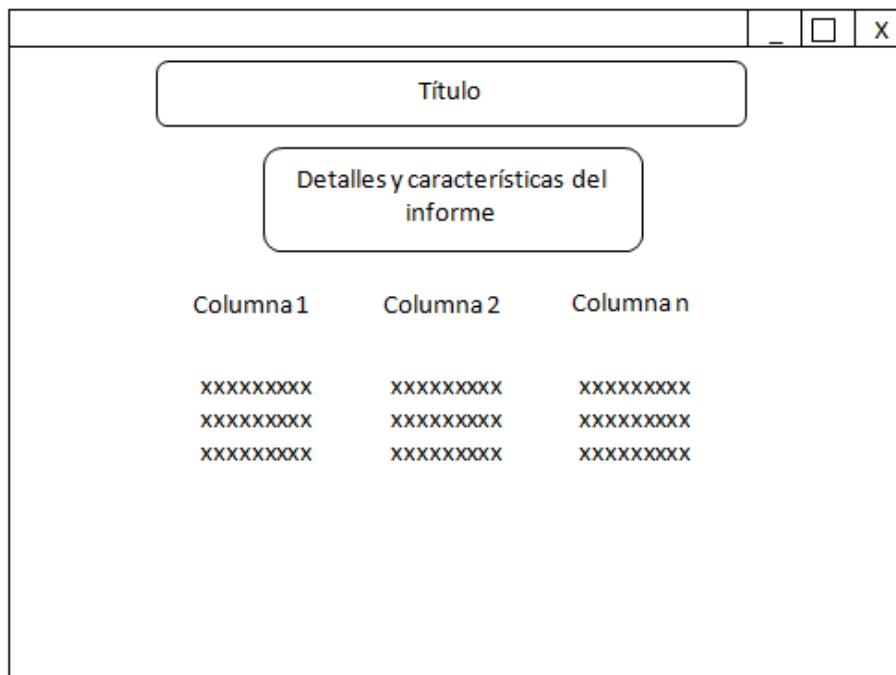


FIGURA III.21 Diseño de las interfaces del prototipo
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

3.2.4.3 Diseño de la base de datos

La descripción de las tablas que se utilizarán en el diseño de la base de datos se presenta en la Tabla III.XXII.

TABLA III.XXII. Descripción de tablas de la BD.

No.	TABLA	DESCRIPCIÓN
1	Unidad	Almacenará información sobre las Unidades de Negocio de CELEC, información que se utilizará para presentar en las pantallas de las interfaces web.
2	Embalse	Contendrá información de los embalses a monitorear.
3	Nodo	Contendrá información sobre los nodos que forman parte de la RSI.
4	Sensor	Contendrá información sobre los diferentes sensores instalados en los nodos de la RSI.
5	Medición	Contendrá información sobre las mediciones que se realicen en la RSI.

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

La descripción de los campos que forman parte de la estructura de la base de datos se presenta en la Tabla III.XXIII.

TABLA III.XXIII Descripción de campos de la BD.

N°	CAMPO	TIPO DATO	TAMAÑO	CLAVE
TABLA: UNIDAD				
1	uni_codigo	Entero	--	Primaria
2	uni_nombre	var char	50	--
3	uni_descripcion	var char	100	--
TABLA: EMBALSE				
1	emb_codigo	Entero	--	Primaria
2	emb_nombre	var char	50	--
3	uni_codigo	Entero	--	Foránea
TABLA: NODO				
1	nod_codigo	Entero	--	Primaria
2	nod_descripcion	var char	100	--
3	emb_codigo	Entero	--	Foránea
TABLA: SENSOR				
1	sen_codigo	Entero	--	Primaria
2	sen_nombre	var char	100	--
3	nod_codigo	Entero	--	Foránea
TABLA: MEDICION				
1	med_codigo	Entero	--	Primaria
2	med_fecha	Fecha	--	--
3	med_hora	Hora	--	--
4	med_valor	var char	20	--
5	sen_codigo	entero	--	Foránea

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

El diseño lógico de la base de datos se presenta en la Figura III.22.

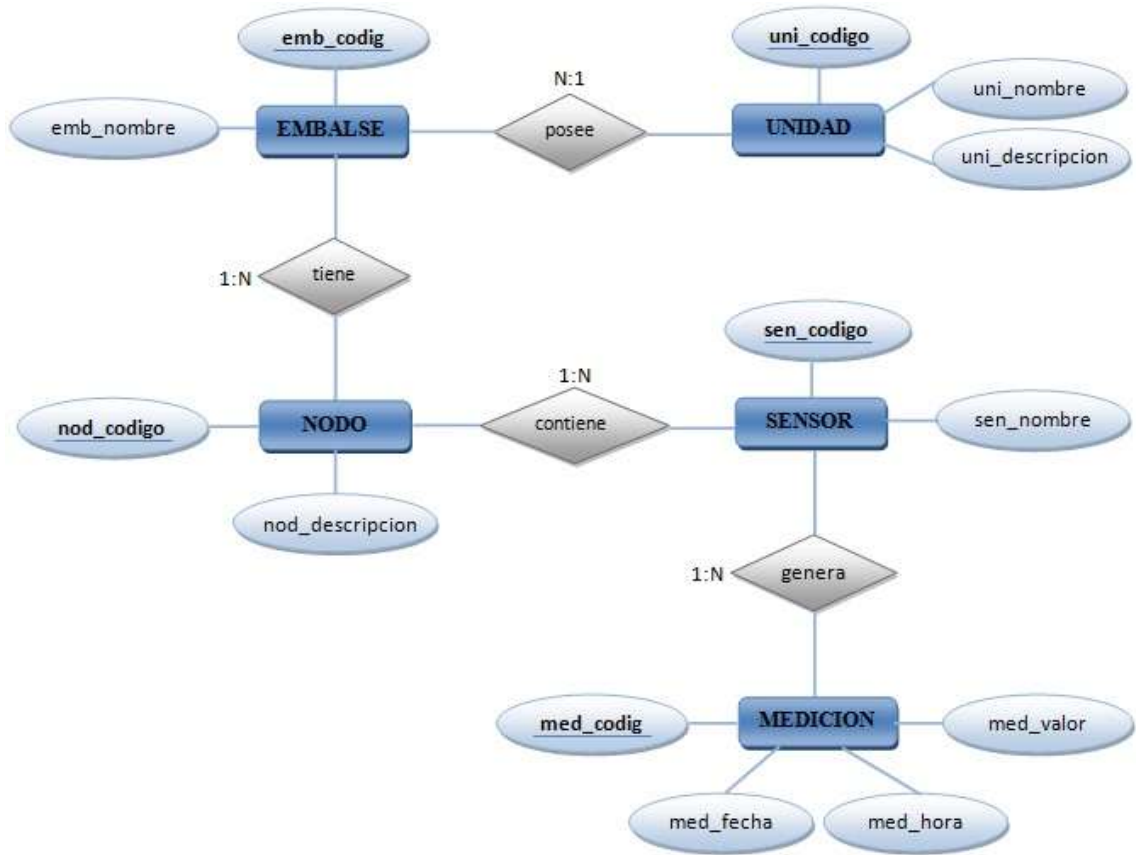


FIGURA III.22. Diseño lógico de la BD
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

El diseño físico de la base de datos se presenta en la Figura III.23.

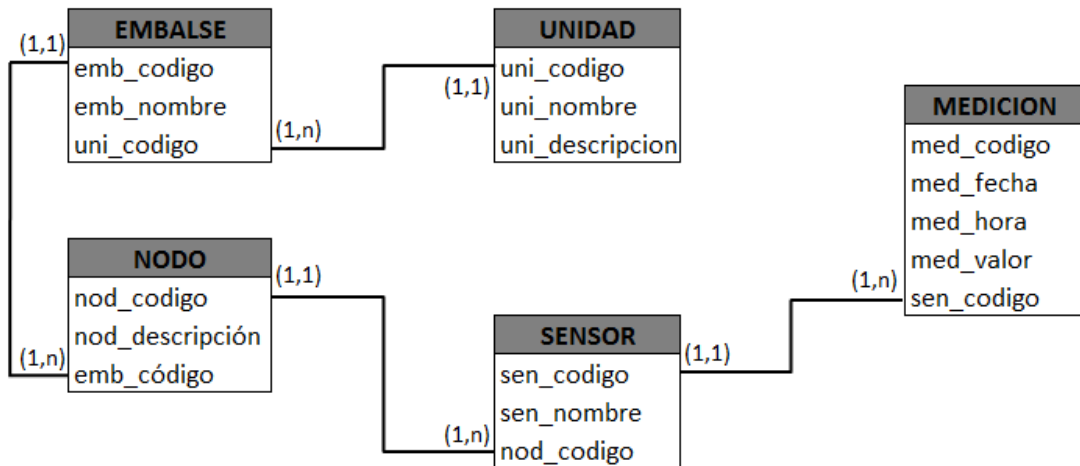


FIGURA III.23. Diseño físico de la BD
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

3.2.5 Implementación

La implementación del prototipo se basará en la utilización del equipamiento de las plataformas Arduino y Waspote, mientras que el aplicativo que permita visualizar la información del prototipo se basará en una aplicación multiplataforma mediante la utilización de herramientas de libre distribución.

La aplicación a implementarse será una aplicación web, desarrollada bajo el entorno de desarrollo JAVA NETBEANS IDE 7.2.1 [43] con el sistema gestor de base de datos PostgreSQL 9.2. [29].

3.2.5.1 Materiales y equipos

El listado de materiales y equipos utilizados en el desarrollo del prototipo se presenta en la Tabla III.XXIV.

TABLA III.XXIV. Materiales y equipos para la implementación del prototipo

No.	CANT.	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN	PRECIO	TOTAL
HARDWARE Y SOFTWARE – COMÚN						
1	3	Hardware	Módulo Xbee ZB Pro	Serie 2	90	270
2	3	Hardware	Antena 2dbi		10	30
3	2	Hardware	Baterías	Recargables	16	32
4	2	Hardware	Sensores	Medición de temperatura de agua	15	30
5	1	Hardware	Computadora	Configuración y pruebas de rendimiento de los equipos (100 horas)	100	100
6	1	Hardware	Placa- Gateway	Gateway Waspote	35	35

7	1	Hardware	Case y accesorios adicionales		50	50
8	1	Software	XCTU 6.0.0	Libre	0	0
9	1	Software	PostgreSQL 9.2	Libre	0	0
10	1	Software	NetBeans IDE 7.2.1	Libre	0	0
11	1	Software	Sistema Operativo CentOS 6.4	Libre	0	0
12	1	Software	Apache 2.2.15	Libre	0	0
HARDWARE Y SOFTWARE - PLATAFORMA ARDUINO						
13	1	Hardware	Módulo Arduino Mega 2560		80	80
14	1	Hardware	Módulo Shield XBee		28	28
15	1	Software	Arduino IDE 1.0.5	Libre	0	0
16	1	Software	Librería OnWire	Libre	0	0
17	1	Software	Librería XBee	Libre	0	0
HARDWARE Y SOFTWARE - PLATAFORMA WASPMOTE						
18	1	Hardware	Módulo Waspote ZB PRO		120	120
19	1	Software	Waspote PRO IDE 3.0	Libre	0	0
20	1	Software	Librería WaspXBeeZB	Libre	0	0
21	1	Software	Librería WaspFrame	Libre	0	0
TOTAL:						775

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

El costo de implementación del prototipo es de USD. 775 dólares.

3.2.5.2 Implementación común de las plataformas Arduino y Waspote

Para la implementación de los prototipos existen configuraciones iguales o comunes que serán usadas para las dos plataformas, a continuación se describen estos procesos de implementación.

3.2.5.2.1 Sistema de comunicación – módulos XBEE

La implementación del sistema de comunicación es a través de los módulos XBee ZB Pro S2, los mismos que permiten la comunicación inalámbrica y la transmisión de los datos dentro de la RSI mediante el protocolo de comunicaciones Zigbee. [16].

Para configurar los módulos XBee existen dos modos, el modo AT y API. [49][10]

- ✓ **Modo AT:** Conocido también como modo transparente, es el modo más sencillo y limitado en funciones de administración y gestión de la RSI, utiliza comandos AT los cuales permiten administrar y configurar la red, utilizado generalmente para fines educativos por constituirse lento debido a que se requiere de permanente monitoreo del puerto serial para verificar que los comandos se estén ejecutando satisfactoriamente y en el orden específico.

- ✓ **Modo API:** Es considerado el más complicado a nivel de programación pero provee de mayor flexibilidad al momento de realizar envío y recepción de datos, permitiendo tener un mayor control, administración y gestión de la RSI, en modo API la dirección destino forma parte de la trama, por lo que es mucho más rápido comunicarse con varios equipos dentro de la RSI.

La implementación de los módulos XBee del prototipo se configurarán en modo API.

Para configurar los módulos XBee ZB Pro S2, es necesario un módulo programable para dispositivos XBee, en este caso se usará el módulo Gateway Wasmote, el cual dentro de sus funciones, permite constituirse como un módulo programable Xbee, además, para la configuración de los módulos es necesario el programa XCTU propiedad de la empresa Digi, fabricantes de los módulos XBee. A continuación se detalla paso a paso la configuración de los módulos XBee ZB Pro.

- ✓ Primeramente se debe descargar el programa XCTU [40] para configurar los módulos XBee. En este caso se utilizó la versión 6.0.0, la misma que a diferencia de las versiones anteriores presenta una nueva interfaz pero mantiene las mismas herramientas y funcionalidad que las versiones anteriores. Cabe indicar que en la actualidad éste software es soportado solo para plataformas Windows.

- ✓ Para la configuración de los módulo XBee ZB Pro S2, se utilizó el módulo Gateway Wasmote, donde insertamos el módulo XBee ZB Pro S2 a ser configurado, en los pines destinados para el efecto, posteriormente por medio de un cable USB conectamos el módulo Gateway Wasmote al computador, para su posterior configuración, tal como se presenta en la Figura III.24.

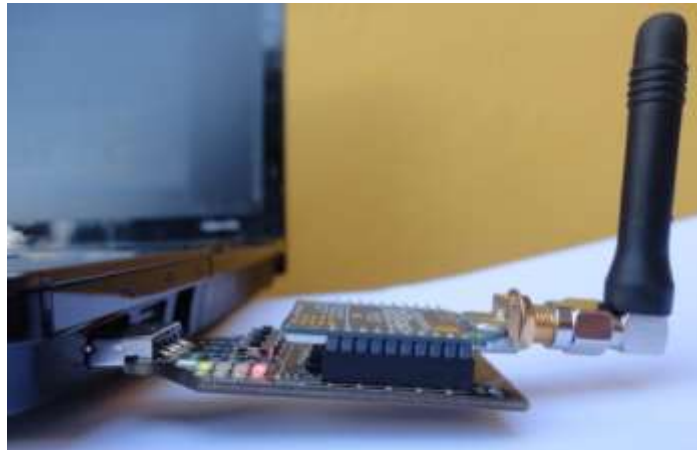


FIGURA III.24 Conexión del módulo XBee ZB Pro
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

- ✓ Una vez conectados los equipos, el módulo Gateway Wasmote es reconocido como un puerto serial (COM), en este caso, el módulo fue asignado al puerto COM 6.

Nota: Para la configuración de los módulos XBee ZB Pro S2 se está trabajando con un computador portátil con sistema operativo Windows 7 de 64 bits, si se está trabajando con otras versiones de Windows tal vez sea necesario instalar drivers para el reconocimiento del dispositivo Gateway Wasmote, que se puede descargar del siguiente enlace: <http://www.ftdichip.com/Drivers/D2XX.htm>.

- ✓ Posteriormente ejecutamos el programa XCTU. La Figura III.25 presenta la interface del programa XCTU.

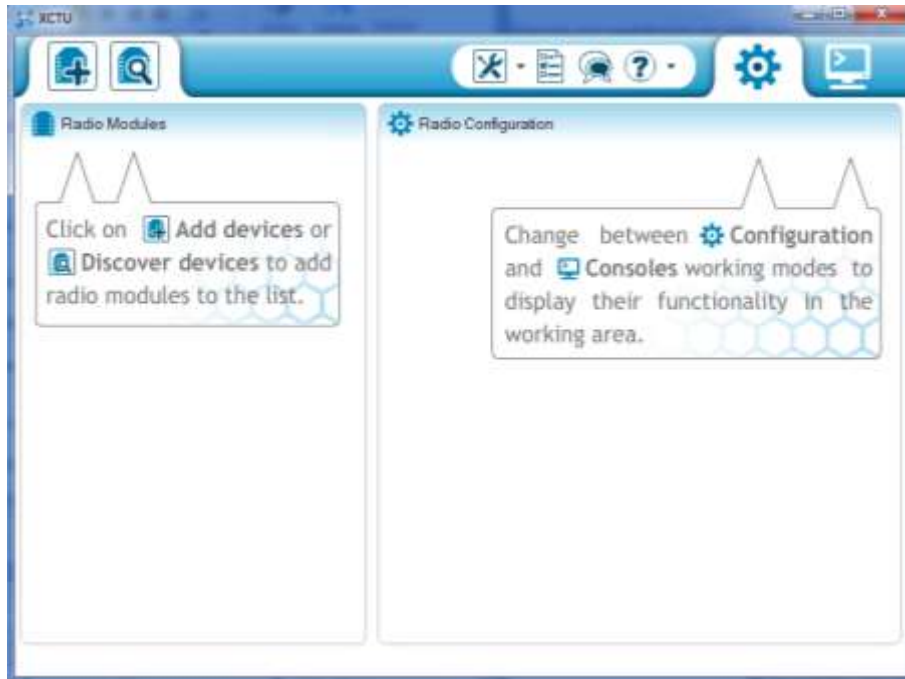


FIGURA III.25. Interfaz del programa XCTU
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena


- ✓ Seleccionar el ícono de adición de nuevo módulo  , donde aparecerá una ventana y seleccionamos el puerto en el cual está conectado el dispositivo, en este caso es el puerto COM 6, y configuramos la información presentada en la Tabla III.XXV.

Tabla III.XXV. Parámetros de conexión XCTU

No.	PARÁMETRO	VALOR
1	Baud Rate	115200
2	Data Bits	8
3	Parity	None
4	Stop Bits	1
5	Flow Control	None

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

La Figura III.26, presenta la interface de la aplicación XCTU con los valores configurados.



FIGURA III.26. Parámetros de conexión XCTU
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

- ✓ Una vez que el programa XCTU establece comunicación con el módulo XBee ZB Pro S2, el programa muestra las características generales del módulo como: nombre, función que desempeña dentro de la red, el puerto al cual está conectado en el computador, la MAC, y al seleccionar o dar clic sobre él, en la parte derecha de la pantalla aparece un menú de opciones, información del firmware y todos los parámetros para configurar el módulo. La Figura III.27. presenta la interface con las opciones de configuración del módulo XBee.

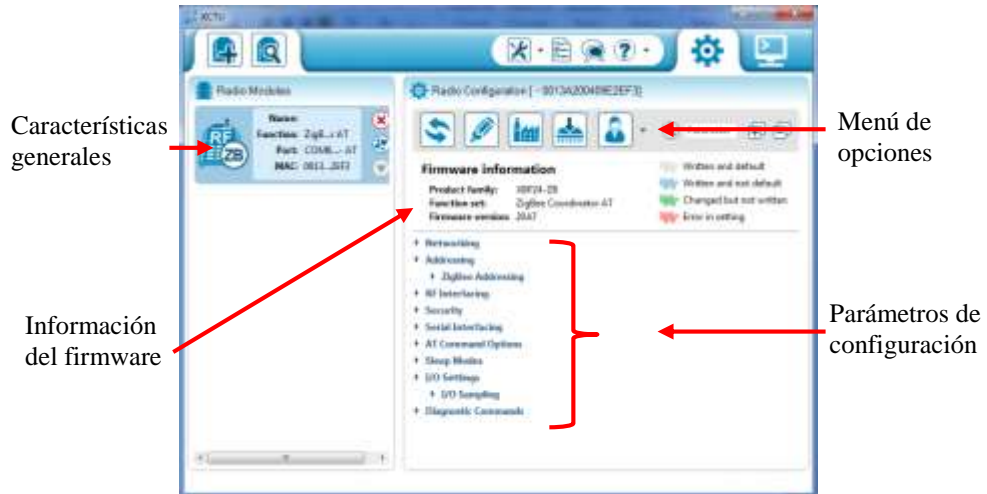


FIGURA III.27. Opciones para la configuración del módulo XBee


Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

✓ Posteriormente se procede a configurar los módulos XBee ZB Pro S2, para lo cual es necesario configurar dos aspectos:

- La función de trabajo o de desempeño que tomará el módulo dentro de la RSI (firmware), y
- Los parámetros de encaminamiento y comunicación que se establecerá dentro de la RSI.

A continuación se describe la configuración de los módulos XBee ZB Pro, tomando en cuenta los aspectos anteriormente mencionados.

✓ **Función del módulo Xbee ZB Pro S2 (firmware):** Dentro del menú de opciones del

programa XCTU, seleccionar el ícono de actualización del firmware , donde se

presenta un listado de versiones de firmware de acuerdo al tipo y características del módulo, y a la función que se le quiera dar dentro de la RSI.

En este caso, al momento de presionar el botón de actualización del firmware, aparecen los tipos de dispositivos que podrían ser, seleccionamos el tipo XBP24-ZB (XBee Pro S2 Zigbee), que es el tipo de módulo que se está configurando en este caso, seguidamente aparece una lista de funciones donde seleccionamos la funcionalidad que tendrá el módulo dentro de la RSI. La Tabla III.XXVI muestra la configuración de los tres módulos XBee ZB Pro S2 utilizados en el prototipo

TABLA III.XXVI. Funcionalidad de los módulos XBee

MÓDULO	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN	FIRMWARE
1	Zigbee Coordinator API	Coordinador de la red Zigbee, con capacidad de comunicaciones API	21 A 7
2	Zigbee Router/End Device API	Enrutador/Dispositivo final de la red Zigbee, con capacidad de comunicaciones API	27 A 7
3	Zigbee Router/End Device API	Enrutador/Dispositivo final de la red Zigbee, con capacidad de comunicaciones API	27 A 7

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

La configuración de los parámetros se presenta en la Figura III.28.

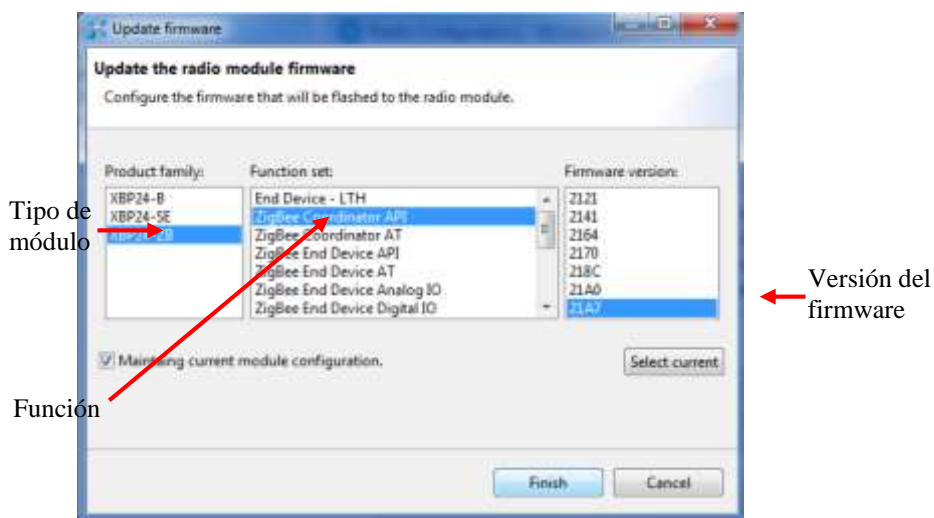


FIGURA III.28. Configuración del firmware del módulo coordinador XBee

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Nota: Se recomienda escoger la última versión del firmware proporcionada por el programa XCTU, con el objetivo de no tener problemas de actualizaciones futuras.

✓ **Parámetros de encaminamiento y comunicación:** Comprende la configuración de los parámetros que permiten establecer la comunicación entre los módulos ZigBee de acuerdo a los requerimientos del prototipo.

✓ **Networking:** Comprende la configuración del identificador para la red de área personal, denominado PAN ID, esta identificación de red será igual para los tres módulos XBee ZB Pro.

PAN ID = 123

✓ **Addressing:** Para establecer la comunicación entre los módulos XBee, configuramos las direcciones de envío y recepción las mismas que son conocidas como direccionamiento ALTO (DH) y BAJO (DL), éstos parámetros son parte de la dirección MAC de cada módulo XBee, donde la dirección DH corresponde a los 8 primeros valores de la dirección MAC y los 8 valores restantes corresponde a la dirección de DL. La Tabla III.XXVII. presenta las direcciones MAC de los dispositivos XBee.

Tabla III.XXVII. Direccionamiento de los módulos XBee

MÓDULO	MAC	DH	DL
1	0013A200409E2EF3	0013A200	
2	0013A200409E2EDC	0013A200	409E2EF3
3	0013A200409E2EF6	0013A200	409E2EF3

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

- ✓ **Serial Interfacing:** Permite establecer la velocidad en baudios de la interfaz serial, la misma que deberá ser igual para todos los módulos XBee ZB Pro S2, en este caso es de 115200. La Figura III.29. muestra la configuración de los parámetros descritos.

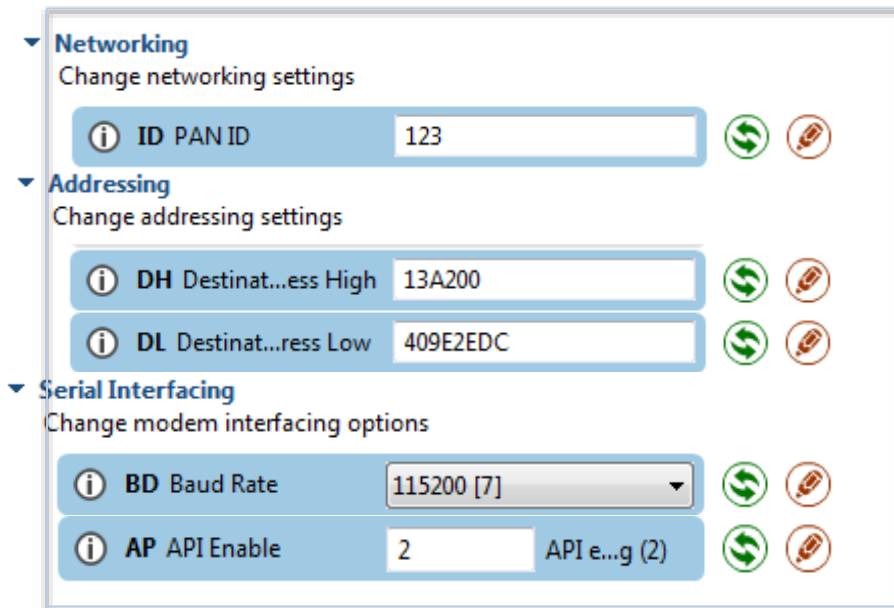


FIGURA III.29. Configuración de parámetros del módulo coordinador XBee
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

- ✓ Una vez realizadas todas las configuraciones detalladas, el siguiente paso comprende escribir o guardar todos los cambios realizados en las configuraciones de cada uno de los dispositivos XBee ZB Pro S2.

3.2.5.2.2 Sistema de recepción - Gateway

El sistema de recepción o Gateway para los dos prototipos se implementó mediante la utilización de un Wasmote Gateway. Los componentes que forman parte del sistema se puede visualizar en la Tabla III.XXVIII.

Tabla III.XXVIII. Componentes del Gateway

No.	EQUIPO	CANT.	OBSERVACIÓN
1	Placa Waspote Gateway	1	
2	Módulo Xbee ZB Pro S2	1	Configurado como Zigbee Coordinator API
3	Antena 2dbi	1	

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

La implementación del Gateway comprendió el ensamblaje de los componentes y comprobación del encendido. La Figura III.30, presenta los componentes que forman parte del Gateway.

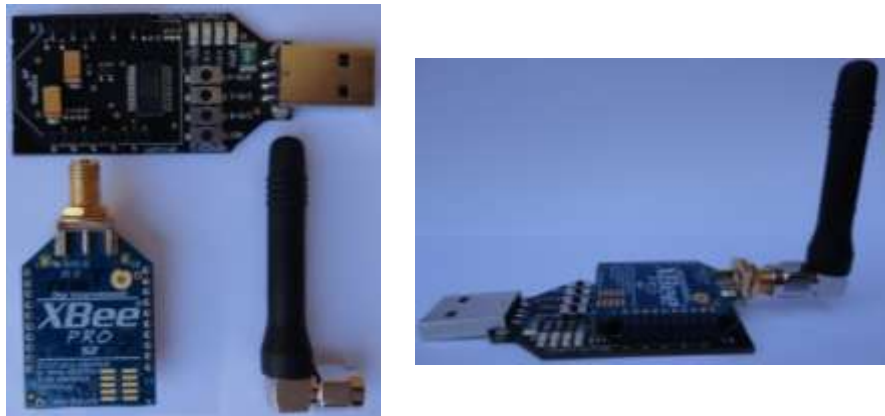


FIGURA III.30. Componentes del Gateway

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

3.2.5.2.3 Base de Datos

Se implementó la base de datos denominada **db_rsi_celec-hidroagoyan** en el motor de base de datos PostgreSQL 9.2., mediante la herramienta de administración de base de datos PGAdmin III. [32].

La descripción de las tablas y campos implementados en PostgreSQL se presenta en la Tabla III.XXIX.

TABLA III.XXIX Descripción de campos de la BD en PostgreSQL.

No.	CAMPO	TIPO DATO	TAMAÑO	CLAVE
UNIDAD				
1	uni_codigo	integer	--	Primaria
2	uni_nombre	character varying	50	--
3	uni_descripcion	character varying	100	--
EMBALSE				
1	emb_codigo	integer	--	Primaria
2	emb_nombre	character varying	50	--
3	uni_codigo	integer	--	Foránea
NODO				
1	nod_codigo	Integer	--	Primaria
2	nod_descripcion	character varying	100	--
3	nod_ubicacion	character varying	100	--
4	emb_codigo	Integer	--	Foránea
SENSOR				
1	sen_codigo	Integer	--	Primaria
2	sen_nombre	character varying	100	--
3	sen_unidad	character varying	50	--
4	nod_codigo	Integer	--	Foránea
MEDICION				
1	med_codigo	Integer	--	Primaria
2	med_fecha	Date	--	--
3	med_hora	time with time zone	--	--
4	med_valor	character varying	20	--
5	med_plataforma	Integer	--	--
6	sen_codigo	Integer	--	Foránea

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

La Figura III.31, presenta la interface de la herramienta PGAdmin III con la implementación de la base de datos.

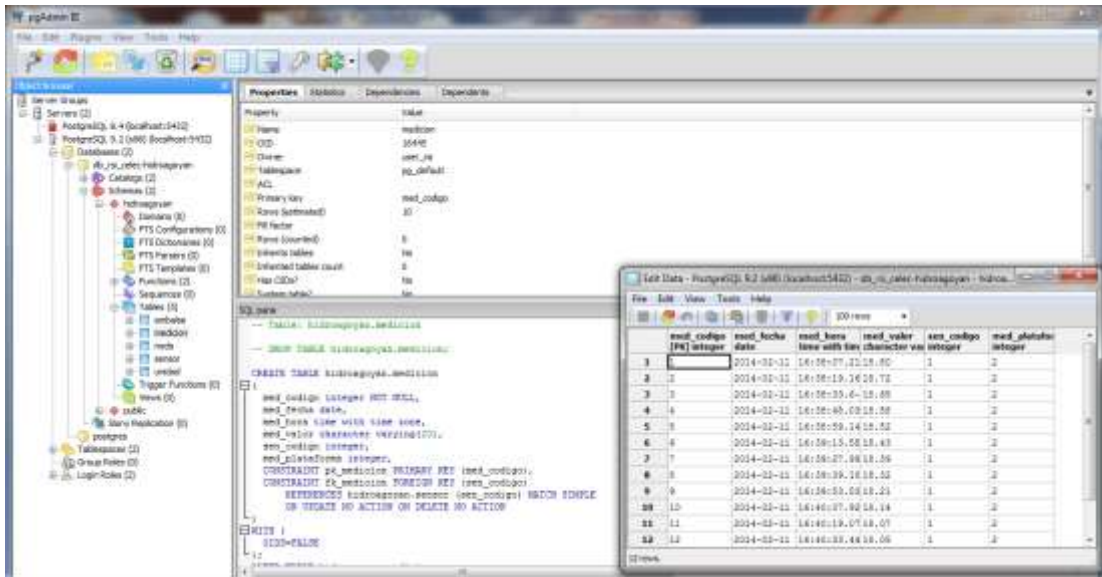


Figura III.31. Implementación de la BD.
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

3.2.5.2.4 Interfaces y aplicaciones

La implementación de las interfaces se realizó mediante el entorno de desarrollo Netbeans IDE 7.2.1., donde se desarrollaron dos aplicaciones: una aplicación Java y una aplicación Web.

- ✓ **Aplicación Java:** Es una aplicación denominada Agente, que permite la toma de los datos sensados del Gateway mediante la lectura del puerto serial para luego ser almacenados en la Base de Datos. La aplicación está conformada por dos clases las cuales se encuentran detalladas en la Tabla III.XXX.

Tabla III.XXX. Clases de la aplicación JAVA

No.	CLASE	DESCRIPCIÓN
1	ArduinoWaspnote	Se encarga de leer el puerto serial del Gateway y capturar los datos sensados en la RSI.
2	FMedicacion	Permite almacenar los datos sensados por la RSI en la Base de Datos.

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Adicionalmente para el desarrollo de la aplicación se utilizó las librerías: PostgreSQL, RXTX [28] y Giovynet [27]. El código fuente de las clases desarrolladas se presenta en el **ANEXO B**.

- ✓ **Aplicación Web:** Es una aplicación web denominada CELEC-HIDROAGOYAN, que permite visualizar los datos obtenidos por la RSI en tiempo real a través de una interfaz amigable desarrollada bajo las tecnologías HTML [44] y PHP [45]. El detalle de las páginas que forman parte de la aplicación web se presenta en la Tabla III.XXXI.

Tabla III.XXXI. Detalle de las páginas de la aplicación Web

No.	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Principal (index)	Página web html de bienvenida, que permite mostrar las funciones que están disponibles dentro del sitio web del prototipo.
2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ empresa ✓ rsi ✓ arduino ✓ waspmote ✓ soporte 	Páginas web html, que presentan información complementaria y educativa al sitio web, como: información de la empresa, redes de sensores inalámbricos, plataforma Arduino, plataforma Waspote, e información de soporte técnico.
3	Sensado	Página php, cuya funcionalidad es de presentar en pantalla los datos sensados por la RSI en tiempo real.
4	Datosreporte <ul style="list-style-type: none"> ✓ dr-pdf ✓ dr-gráfico 	Páginas web html, que permiten escoger los datos necesarios para generar los reportes.
5	Reportes <ul style="list-style-type: none"> ✓ r-pdf ✓ r-gráfico 	Páginas php, que permite visualizar los datos sensados con sus características textuales y gráficas, almacenados en la base de datos mediante un reporte en formato PDF.
5	Fpdf	Hoja de estilo, utilizada para dar formato a la visualización de los reportes en formato PDF.
6	Greeny	Hoja de estilo, utilizada para dar formato a las páginas del sitio web.

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Las interfaces gráficas que forman parte de la aplicación Web se presenta en la Figura III.32.

INTERFAZ: PRINCIPAL (Index)

Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC EP
Unidad de Negocio Hidroagoyán

Empresa RSI Arduino Waspote Soporte

CELEC EP
CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR
UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

MENÚ

INFORMATIVO

- Inicio
- Empresa
- RSI
- Arduino
- Waspote
- Soporte

MONITOREO Y CONTROL

- Sensado
- Reportes

BIENVENID@S

MONITOREO Y CONTROL DE EMBALSES

Agoyán Pisayambo

Redes de Sensores Inalámbricos | Copyright *****DVRM***** All rights reserved | CELEC EP | Página Principal

INTERFAZ: COMPLEMENTARIAS

EMPRESA

Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC EP
Unidad de Negocio Hidroagoyán

Empresa RSI Arduino Waspote Soporte

CELEC EP
CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR
UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

MENÚ

INFORMATIVO

- Inicio
- Empresa
- RSI
- Arduino
- Waspote
- Soporte

MONITOREO Y CONTROL

- Sensado
- Reportes

UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN

UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN es una de las Unidades de Negocio de CELEC EP, el sucesor de la administración de explotación de las centrales Agoyán, Pisayán y San Francisco, todas ubicadas en el sector Norte de la Provincia de Napo.

Título

“En la empresa pública S.A., que garantiza el servicio eléctrico a través de la actividad de explotación de las centrales hidroeléctricas.”

Missión

“Contribuir al desarrollo integral de la provincia Napo a través de la calidad y eficiencia en el servicio eléctrico suministrado a los usuarios.”

Redes de Sensores Inalámbricos | Copyright *****DVRM***** All rights reserved | CELEC EP | Datos Básicos

RSI

Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC EP
Unidad de Negocio Hidroagoyán

Empresa RSI Arduino Waspote Soporte

CELEC EP
CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR
UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

MENÚ

INFORMATIVO

- Inicio
- Empresa
- RSI
- Arduino
- Waspote
- Soporte

MONITOREO Y CONTROL

- Sensado
- Reportes

LAS REDES DE SENSORES EN ALÁMBRICO (RSI)

Las red de sensores inalámbricos (RSI), es un red de sensores de ultrasonidos, proporciones (Banda ancha o banda estrecha), con capacidad de comunicación por radio de largo alcance.

Las redes de sensores en alámbrico son diseñadas por un grupo de usuarios con: capacidad limitada y de comunicación limitada y los datos pueden ser almacenados en dispositivos de almacenamiento de información.

Las redes de sensores en alámbrico están diseñadas para ser adaptadas y instaladas en áreas con alta capacidad de comunicación, como: sensores de temperatura, humedad, vibración, etc.

Este tipo de redes de sensores son de fácil de instalar y por un mantenimiento sencillo, controlado en un momento en tiempo real, ofrece un tipo de información muy precisa en tiempo real, sin necesidad de dispositivos de almacenamiento de información de largo alcance. Este tipo de redes de sensores es un gran ejemplo de la capacidad de los sensores para ser de uso en áreas de difícil acceso.

Redes de Sensores Inalámbricos | Copyright *****DVRM***** All rights reserved | CELEC EP | Datos Básicos

ARDUINO

Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC EP
Unidad de Negocio Hidroagoyán

Empresa RSI Arduino Waspote Soporte

CELEC EP
CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR
UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

MENÚ

INFORMATIVO

- Inicio
- Empresa
- RSI
- Arduino
- Waspote
- Soporte

MONITOREO Y CONTROL

- Sensado
- Reportes

PLATAFORMA ARDUINO

ARDUINO es una plataforma de electrónica abierta que consiste de hardware basado en software y hardware. Es flexible y fácil de usar. Es un estándar de hardware, software, protocolos de comunicación y otros aspectos de hardware y software.

ARDUINO es una plataforma de electrónica abierta que consiste de hardware basado en software y hardware. Es flexible y fácil de usar. Es un estándar de hardware, software, protocolos de comunicación y otros aspectos de hardware y software.

Redes de Sensores Inalámbricos | Copyright *****DVRM***** All rights reserved | CELEC EP | Datos Básicos

WASPMOTE

Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC EP
Unidad de Negocio Hidroagoyán

Empresa RSI Arduino Waspote Soporte

CELEC EP
CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR
UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

MENÚ

INFORMATIVO

- Inicio
- Empresa
- RSI
- Arduino
- Waspote
- Soporte

MONITOREO Y CONTROL

- Sensado
- Reportes

PLATAFORMA WASPMOTE

Waspote es el resultado de la unión de los equipos por parte de CELEC, respecto de sensores inalámbricos de largo alcance y para el seguimiento de sensores inalámbricos, sensores de temperatura, humedad, vibración, etc.

El equipo es de una plataforma de electrónica abierta que consiste de hardware y software, software que es compatible con protocolos de comunicación de dispositivos de sensores inalámbricos. Este equipo es de uso en áreas de difícil acceso y los datos almacenados en dispositivos de almacenamiento de información de largo alcance.

Redes de Sensores Inalámbricos | Copyright *****DVRM***** All rights reserved | CELEC EP | Datos Básicos

SOPORTE



INTERFAZ: SENSADO



INTERFAZ: DATOS-REPORTE

DR-PDF



DR-GRÁFICO



INTERFAZ: REPORTES

R-PDF



R-GRÁFICO



FIGURA III.32. Interfaces gráficas de la aplicación Web
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

3.2.5.3 Implementación de la plataforma Arduino

La implementación de la plataforma Arduino comprende el ensamblaje y programación del nodo final del prototipo mediante la utilización de los materiales y equipos descritos en la Tabla III.XXIV.

Para la implementación del nodo es necesario de un módulo base, en este caso se utilizó el módulo base Arduino Mega 2560, un sensor de temperatura de agua, una batería, un módulo Xbee ZB Pro S2 y un módulo Shield XBee cuya función es hacer las veces de pasarela entre el módulo base y el módulo Xbee.

El ensamblaje comprende la instalación del módulo XBee ZB Pro S2 en los pines destinados para el efecto en el módulo Shield XBee y este a su vez va instalado en el módulo base Arduino Mega 2560.

El nodo además incluye el suministro de energía dada por una batería externa, la misma que es conectada a la fuente de alimentación externa del módulo base y un sensor de temperatura de agua.

El sensor de temperatura es provisto de tres cables: corriente, tierra y sensor, los cuales deben ser conectados al módulo base en los pines POWER: 3.3V, GND y PIN DIGITAL: 53 respectivamente que permita sensar el medio y dar la apropiada funcionalidad de acuerdo a los requerimientos del prototipo. La Figura III.33. muestra los componentes y

estructura del nodo Arduino para el funcionamiento dentro de la RSI definido en el prototipo.

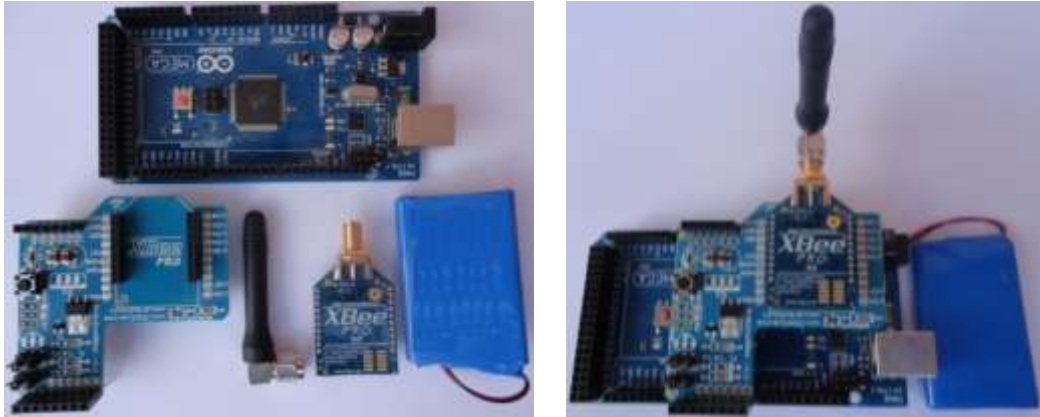


FIGURA III.33. Nodo de la plataforma Arduino
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Nota: El módulo Shield Xbee posee dos jumpers, los mismos que deben estar ubicados en las posiciones XBEE marcadas en el módulo.

Una vez ensamblado el módulo Arduino se procede con la configuración y programación del mismo para lo cual se hace uso de un IDE de programación llamado Arduino IDE 1.0.5, este entorno de desarrollo permite crear los programas de acuerdo a las necesidades que se requiera y poderlas cargar directamente al microcontrolador de la placa base, mediante una conexión serial desde un computador. A continuación se describen los pasos para realizar este proceso.

- ✓ Se debe conectar el módulo base, al computador mediante un cable USB.
- ✓ Descargar el IDE Arduino 1.0.5 desde la página oficial de Arduino [38], descomprimir el paquete descargado, ejecutar la aplicación arduino.exe y esperar que

se cargue el IDE de programación de Arduino. La Figura III.34. presenta la interface de programación del IDE Arduino 1.0.5.



FIGURA III.34. Interfaz del IDE Arduino 1.0.5

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

- ✓ Posteriormente, se debe seleccionar el tipo de tarjeta o módulo a configurar, para lo cual seleccionamos en la pestaña Herramientas/Tarjeta y escogemos la tarjeta Arduino Mega 2560.
- ✓ Luego seleccionamos el puerto serial al cual está conectado el módulo Arduino, para lo cual seleccionamos en la pestaña Herramientas/Puerto Serial y escogemos en este caso Puerto COM6.
- ✓ Configurados los parámetros, se debe programar el código fuente que permitirá la lectura del sensor de temperatura de agua en este caso, procesamiento de los datos y

envío de la información a través de la RSI al Gateway. La Figura III.35. presenta el código fuente o sketch del IDE Arduino implementado en el prototipo [20].

```
#include <OneWire.h>
#include <XBee.h>

OneWire ds(53);
XBee xbee = XBee();
byte payload[5];
XBeeAddress64 addr64 = XBeeAddress64(0x0013a200, 0x409e2ef3);
ZBTxRequest zbTx = ZBTxRequest(addr64, payload, sizeof(payload));


void setup(void) {
  xbee.begin(115200);
}


void loop(void) {
  byte i;
  byte present = 0;
  byte type_s;
  byte data[12];
  byte addr[8];
  float celsius;
  char celsius1[5];

  if ( !ds.search(addr) ) {
    Serial.println();
    ds.reset_search();
    return;
  }
  ds.reset();
  ds.select(addr);
  ds.write(0x44, 1);
  present = ds.reset();
  ds.select(addr);
  ds.write(0xBE);

  for ( i = 0; i < 9; i++) {
    data[i] = ds.read();
  }
  int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
  if (type_s) {
    raw = raw << 3;
    if (data[7] == 0x10) {
      raw = (raw & 0xFFF0) + 12 - data[6];
    }
  }
  else {
    byte cfg = (data[4] & 0x60);
    if (cfg == 0x00) raw = raw & ~7;
    else if (cfg == 0x20) raw = raw & ~3;
    else if (cfg == 0x40) raw = raw & ~1;
  }
  celsius = (float)raw / 16.0;
  payload[1]= (float)celsius;
  xbee.send(zbTx);
  delay(5000);
}
```

FIGURA III.35. Código fuente del nodo Arduino.
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

- ✓ Luego comprobamos la funcionalidad del código fuente, dando clic en el ícono verificar , en el área de mensajes debe aparecer el mensaje “Compilación Terminada” que indica que el sketch es correcto.

- ✓ Finalmente se procede a cargar el sketch al microcontrolador, para ello hacemos clic en el ícono cargar  y listo, quedando configurado el nodo Arduino para la RSI descrita en el prototipo con lectura del sensor de temperatura de agua.

3.2.5.4 Implementación de la plataforma Waspnote

La implementación de la plataforma Waspnote comprende el ensamblaje y programación del nodo final del prototipo mediante la utilización de los materiales y equipos descritos en la Tabla III.XXIV.

Para la implementación del nodo es necesario de un módulo base, en este caso se utilizó el módulo Waspnote PRO V1.2, un sensor de temperatura de agua, una batería y un módulo Xbee ZB Pro S2.

El ensamblaje comprende la instalación del módulo XBee ZB Pro S2 en el socket exclusivo para módulos XBee de la tarjeta Waspnote.

El nodo además incluye el suministro de energía dada por una batería externa, la misma que es conectada a la fuente de alimentación externa del módulo base y un sensor de temperatura de agua.

El sensor de temperatura es provisto de tres cables: corriente, tierra y sensor, los cuales deben ser conectados al módulo base en los pines POWER: 3.3V, GND y PIN DIGITAL: 8 respectivamente que permita sensar el medio y dar la apropiada funcionalidad de acuerdo a los requerimientos del prototipo. La Figura III.36. muestra los componentes y estructura del nodo Wasmote para el funcionamiento dentro de la RSI definido en el prototipo.

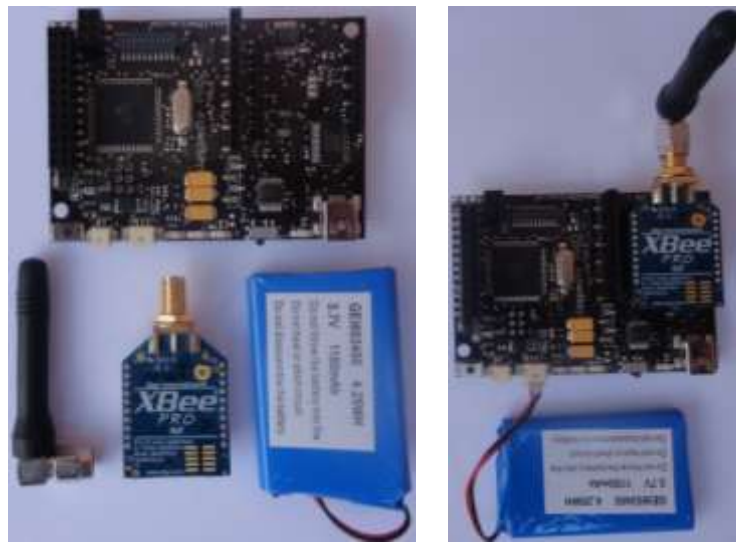


FIGURA III.36. Nodo de la plataforma Wasmote
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Una vez ensamblado el módulo Wasmote se procede con la configuración y programación del mismo para lo cual se hace uso de un IDE propio de la plataforma llamado Wasmote Pro IDE V.03, este entorno de desarrollo permite crear los programas de acuerdo a las necesidades que se requiera y poderlas cargar directamente al microcontrolador de la placa base, mediante una conexión serial desde un computador. A continuación se describen los pasos para realizar este proceso.

- ✓ Conectar el módulo base, al computador mediante un cable USB.

- ✓ Descargar el IDE Wasmote Pro IDE V.03 desde la página oficial de Wasmote [39], descomprimir el paquete descargado, ejecutar la aplicación waspmote.exe y esperar que se cargue el IDE de programación de Wasmote. La Figura III.37. presenta la interface de programación del IDE Wasmote Pro IDE V.03.



FIGURA III.37. Interfaz del IDE Wasmote Pro V.03

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

- ✓ Posteriormente seleccionamos el puerto serial al cual está conectado el módulo Wasmote, para lo cual seleccionamos en la pestaña Herramientas/Puerto Serial y escogemos en este caso Puerto COM6.
- ✓ Luego, la aplicación Wasmote Pro IDE V.03 detecta automáticamente la tarjeta Wasmote que se encuentra conectada.

- ✓ Configurados los parámetros, se debe programar el código fuente que permitirá la lectura del sensor de temperatura de agua en este caso, procesamiento de los datos y envío de la información a través de la RSI al Gateway. La Figura III.38 presenta el código fuente o sketch del IDE Wasmote implementado en el prototipo. [19].

```
#include <WaspXBeeZB.h>
#include <WaspFrame.h>

packetXBee* packet;

char* MAC_ADDRESS="0013A200409E2EF3";

void setup()
{
  xbeeZB.ON();
}
void loop()
{
  frame.createFrame(ASCII, "WASPMOTE_XBEE");
  frame.addSensor(SENSOR_IN_TEMP, Utils.readTempDS1820(DIGITAL8));

  packet=(packetXBee*) calloc(1,sizeof(packetXBee));
  packet->mode=UNICAST;



  xbeeZB.setDestinationParams( packet, MAC_ADDRESS, frame.buffer, frame.length);

  xbeeZB.sendXBee(packet);
  free(packet);

  delay(5000);
}
```

FIGURA III.38. Código fuente del nodo Wasmote.

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

- ✓ Luego comprobamos la funcionalidad del código fuente, dando clic en el ícono verificar , en el área de mensajes debe aparecer el mensaje “Compilación Terminada” que indica que el sketch es correcto.
- ✓ Finalmente se procede a cargar el sketch al microcontrolador, para ello hacemos clic en el ícono cargar  y listo, quedando configurado el nodo Wasmote para la RSI descrita en el prototipo con lectura del sensor de temperatura de agua.

3.2.6 Integración y pruebas

Una vez realizado la configuración e implementación del prototipo de las plataformas Arduino y Waspote se realizó la integración de los componentes: Nodos, Gateway y aplicaciones. Posteriormente se realizaron las pruebas de laboratorio en las cuales se verificó el funcionamiento, sensado, procesamiento, comunicación, adquisición, almacenamiento y presentación de la información a través de las aplicaciones desarrolladas, donde se identificaron y corrigieron ciertos detalles de las aplicaciones que afectaban al rendimiento de la RSI. Corregidos los detalles se deja operativo y en óptimo estado el prototipo.

Finalmente, el prototipo se probó en un escenario real “Laguna de Pisayambo”, donde funcionaron perfectamente sin presentar inconvenientes, de lo cual se concluye que el prototipo se encuentra operativos y funcionando bajo los requerimientos establecidos, por lo que se encuentran listos para continuar con el proceso de evaluación de las plataformas Arduino y Waspote.

La Figura III.39 presenta varias fotografías de las pruebas realizadas con los prototipos.



FIGURA III.39. Pruebas del prototipo
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

3.2.7 Observaciones de la implementación

Durante el proceso de implementación del prototipo, de acuerdo a la información obtenida [8][47] y de las experiencias adquiridas durante la implementación del prototipo se han identificado ciertas observaciones que se ponen en consideración:

- ✓ **Canales de distribución:** Durante la implementación del prototipo, se verificó que en el mercado nacional e internacional existen distribuidores de la plataforma Arduino, así como la distribución de la plataforma Wasmote es distribuida solo por la empresa Libelium de España, razón por lo cual la adquisición de los equipos, componentes y accesorios de la plataforma Arduino y compatibles entre las dos plataformas fueron adquiridos a nivel Nacional, mientras que los equipos de la plataforma Wasmote fueron adquiridos a la empresa Libelium de España.

- ✓ **Componentes y accesorios:** Se constató que en mercado existe gran cantidad de componentes y accesorios para RSI compatibles con las dos plataformas que se pueden utilizar para implementar soluciones de RSI que los componentes y accesorios los permitan. Además se verificó de acuerdo al ítem 2.4.7, la Plataforma Wasmote cuenta con una serie de módulos y componentes adicionales de RSI compatibles solo con la plataforma Wasmote, los mismos que son orientados para la implementación de soluciones específicas y de mayor complejidad, lo cual hace que la plataforma Wasmote lleve cierta ventaja sobre Arduino en el campo de aplicación de las RSI.

- ✓ **Soporte técnico e información:** Durante la implementación del prototipo se presentaron varios inconvenientes y para la solución de los mismos se buscó soporte

técnico e información a través de varios medios tales como: manuales, información en internet, sitio web de Arduino y Waspote, foros, etc, de lo cual se puede concluir: Arduino al ser una plataforma que se encuentra por varios años en el mercado ofrece a nivel de información y soporte técnico un nivel muy básico, por lo que a un nivel más avanzado es difícil obtener ayuda o conseguir información, mientras que la plataforma Waspote brinda a un nivel más avanzado soporte técnico y publica información a través de su portal web.

3.2.8 Prototipo

La Figura III.40. presenta varias fotografías del prototipo implementado.



FIGURA III.40. Fotografías del prototipo
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

3.3 EVALUACIÓN DE LAS PLATAFORMAS ARDUINO Y WASPMOTE

Para la evaluación de las plataformas Arduino y Waspote se considera los criterios establecidas en el capítulo 2 ítem 2.5, mediante la utilización del prototipo implementado. Adicionalmente para realizar las evaluaciones se utilizó un equipo de cómputo con las siguientes características:

- ✓ **Procesador:** Intel Core i7
- ✓ **Memoria:** 6 GB
- ✓ **Disco duro:** 500 GB
- ✓ **Sistema Operativo:** Windows 7 Profesional

3.3.1 Hardware

COMPONENTE:	Hardware
TIPO:	Funcional

Consideraciones: La evaluación del hardware se realiza de acuerdo a la información obtenida del análisis de las plataformas, la misma que en resumen se presenta en la Tabla III.XXXII.

TABLA III.XXXII. Comparación del hardware Arduino y Waspote

PARÁMETRO	CANTIDADES		EVALUACIÓN	
	ARDUINO	WASPMOTE	ARDUINO	WASPMOTE
Microcontrolador				
Flash	256 Kb	128 Kb	3	1
EEPROM	4 Kb	4 Kb	2	2
RAM	8 Kb	8 Kb	2	2
Pines I/O	86	54	3	1
Serial USARTs	4	2	3	1
Canales	16	8	3	1

I/O Digitales	54	8	3	1
I/O Analógicas	16	7	3	1
PWM	15	1	3	1
UARTs	4	2	3	1
Socket almacenamiento externo s-card	0	1	1	3
Socket integrado para módulos xbee	0	1	1	3
Socket para conexión con panel solar	0	1	1	3
Sensores integrados (temp, acelerometro)	0	2	1	3

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Evaluación:

TABLA III.XXXIII. Evaluación del hardware Arduino y Waspote

PARÁMETRO	ARDUINO	WASPMOTE
HARDWARE	2.29	1.71

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Análisis:

De acuerdo a la evaluación, el hardware de la plataforma Waspote obtuvo un promedio de 1.71 debido a que las características de la placa Waspote son más bajas que el hardware de la plataforma Arduino que obtuvo un promedio de 2.29, de lo cual se concluye que de la evaluación realizada en promedio el hardware Arduino tiene un 25.32 % de características más altas que el hardware de la plataforma Waspote.

3.3.2 Disponibilidad

COMPONENTE:	Hardware
TIPO:	Rendimiento

Medición:

TABLA III.XXXIV. Medición de la disponibilidad

PARÁMETRO	PAQUETES ENVIADOS	% PAQUETES RECIBIDOS	
		ARDUINO	WASPMOTE
10 días	14400	100	100

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

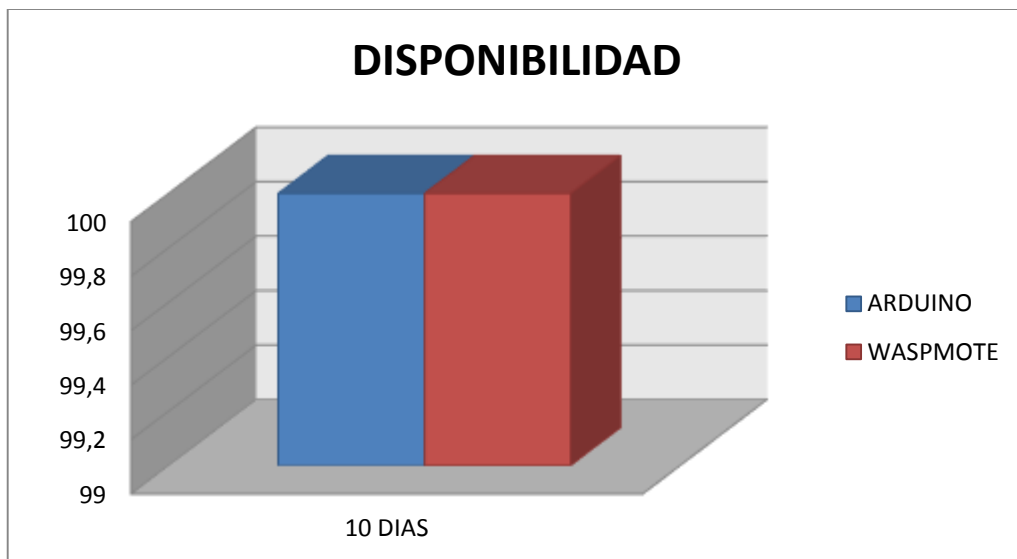


FIGURA III.41. Medición de la disponibilidad

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Evaluación:

TABLA III.XXXV. Evaluación de la disponibilidad

PARÁMETRO	EVALUACIÓN	
	ARDUINO	WASPMOTE
10 días	2	2

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Análisis:

De acuerdo a los resultados de las pruebas realizadas se tiene que la disponibilidad de las plataformas Arduino y Waspnote han alcanzado un nivel del 100% de la disponibilidad,

de lo cual se concluye que en la evaluación de rendimiento las dos plataformas alcanzan el mismo nivel de disponibilidad.

3.3.3 Alcance

COMPONENTE:	Comunicaciones
TIPO:	Rendimiento

Medición:

TABLA III.XXXVI. Medición del alcance

MEDICIÓN	ARDUINO	WASPMOTE
ALCANCE (metros)	2110	2600

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

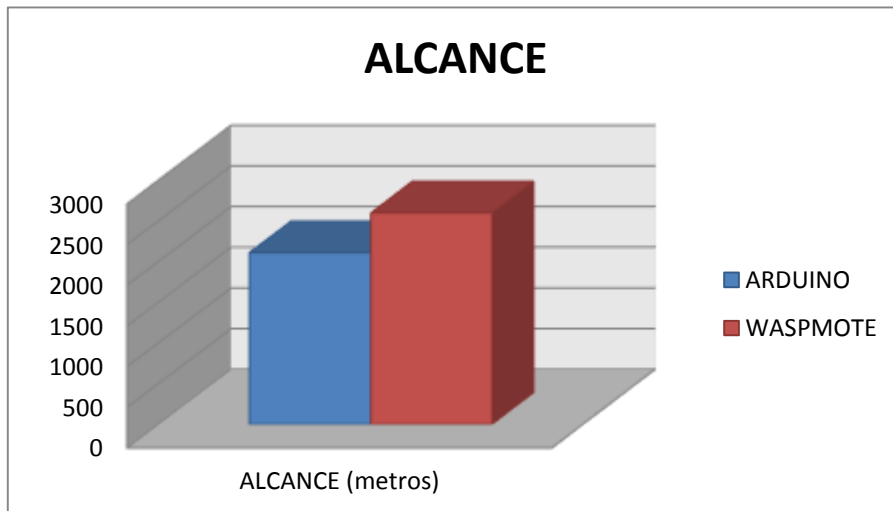


FIGURA III.42. Medición del alcance

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Evaluación:

TABLA III.XXXVII. Evaluación del alcance

MEDICIÓN	ARDUINO	WASPMOTE
ALCANCE (metros)	1	3

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Análisis:

De acuerdo a la información obtenida en la medición y evaluación del alcance de comunicaciones en un ambiente externo libre de obstáculos se tiene que la plataforma Waspote tiene un alcance de 2600 metros, mientras que el alcance de la plataforma Arduino es de 2110 metros. De lo cual se concluye que Waspote tiene un alcance del 23.22 % más que Arduino.

3.3.4 Consumo de Energía

COMPONENTE:	Energía
TIPO:	Rendimiento

Medición:

TABLA III.XXXVIII. Medición del consumo de energía

CONSUMO DE ENERGÍA	ARDUINO	WASPMOTE
ON	73.1	25.2
Sleep	62.4	8.2

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

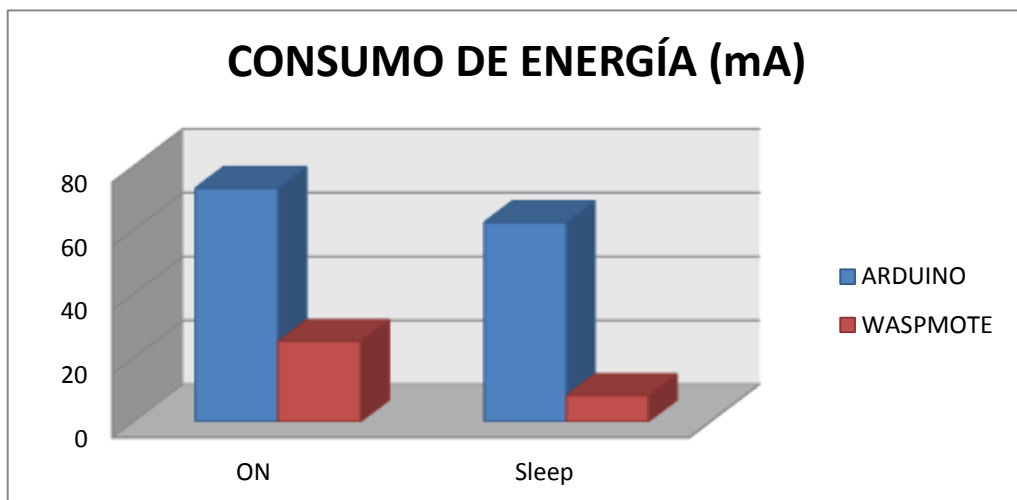


FIGURA III.43. Medición del consumo de energía

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Evaluación:

TABLA III.XXXIX. Evaluación del consumo de energía

CONSUMO DE ENERGÍA	ARDUINO	WASPMOTE
ON	1	3
Sleep	1	3
Promedio:	1	3

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Análisis:

De acuerdo a la información obtenida en la medición y evaluación del consumo de energía se tiene que la plataforma Waspnote en promedio tiene un nivel menor de consumo de energía que la plataforma Arduino. Es así que el consumo de energía de Waspnote en modo ON y SLEEP es del 34.47% y 13.14% respectivamente del consumo de energía de Arduino.

3.3.5 Procesamiento y transmisión de datos

COMPONENTE:	Procesamiento
TIPO:	Rendimiento

Medición:

TABLA III.XL. Medición de procesamiento y transmisión

PERIODICIDAD	PAQ ENVIADOS	PAQ RECIBIDOS	PAQ PERDIDOS	% RECIBIDOS	% PERDIDOS
ARDUINO					
1 Segundo	600	586	14	97.67	2.33
0,1 Segundo	6000	4501	1499	75.02	24.98
WASPMOTE					
1 Segundo	600	587	13	97.83	2.17
0,1 Segundo	6000	4729	1271	78.82	21.18

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

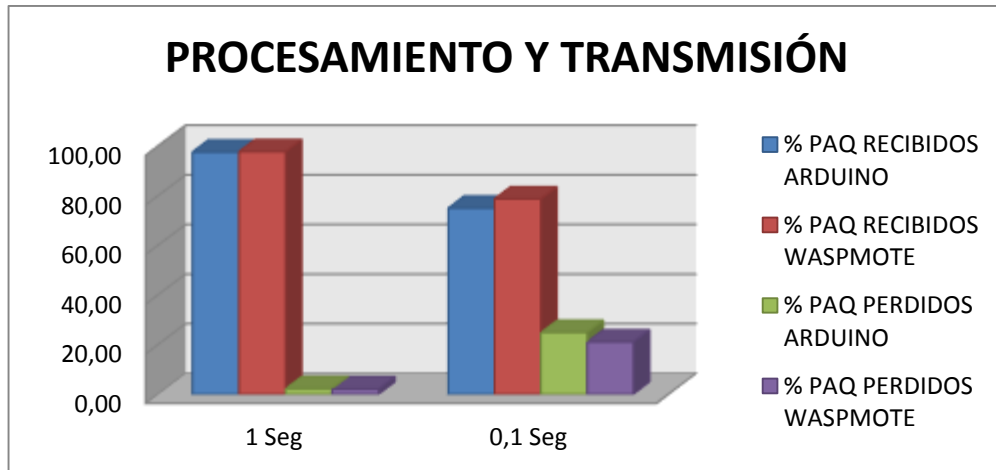


FIGURA III.44. Medición de procesamiento y transmisión
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Evaluación:

TABLA III.XLI. Evaluación del procesamiento y transmisión

PERIODICIDAD	ARDUINO	WASPMOTE
1 Segundo	1	3
0,1 Segundo	1	3
PROMEDIO:	1	3

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Análisis:

De acuerdo a la información obtenida en la medición y evaluación del procesamiento y transmisión de la información se tiene que en promedio la plataforma Waspmote tiene un mayor nivel de procesamiento y transmisión de paquetes que la plataforma Arduino, es así que en las pruebas de 1 y 0,1 segundos Waspmote recibe 0.16% y 3.8% más paquetes que Arduino.

3.3.6 Precios

COMPONENTE:	General
TIPO:	General

Especificación:

TABLA III.XLII. Especificación de precios

PARÁMETRO	PRECIOS USD	
	ARDUINO	WASPMOTE
TARJETAS	108	120

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

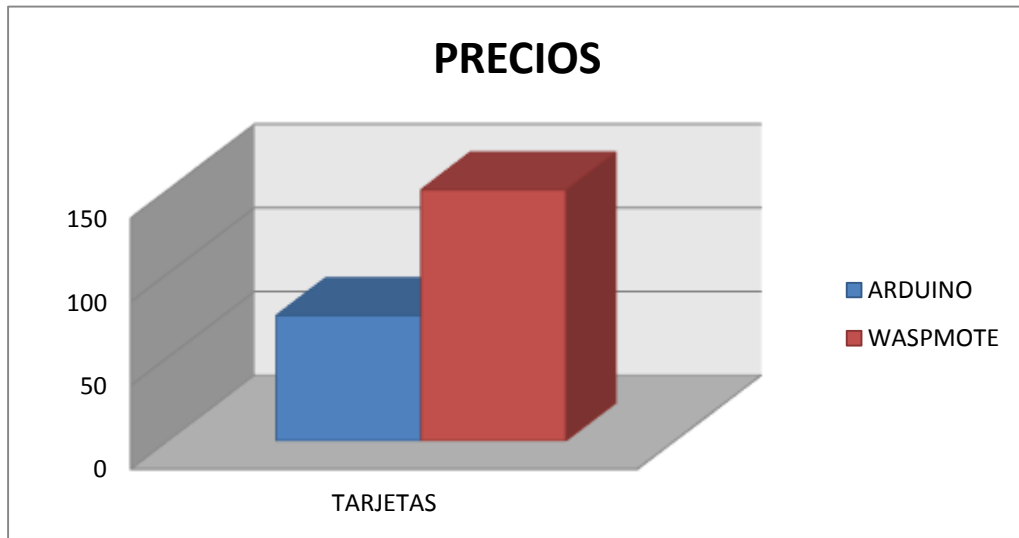


Figura III.45. Especificación de precios

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Evaluación:

TABLA III.XLIII. Evaluación de precios

PARÁMETRO	EVALUACIÓN	
	ARDUINO	WASPMOTE
TARJETAS	3	1

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Análisis:

De acuerdo a la información obtenida en la especificación y evaluación de los precios de las plataformas se tiene que el valor de las tarjetas para implementar un nodo RSI ZigBee, para la plataforma Arduino es menor que el precio de la plataforma Waspnote. Es así que las tarjetas Arduino cuestan el 10 % menos que las tarjetas Waspnote.

3.3.7 Canales de distribución

COMPONENTE:	General
TIPO:	General

Especificación:

TABLA III.XLIV. Especificación de canales de distribución

PARÁMETRO	ARDUINO	WASPMOTE
CANALES DE DISTRIBUCIÓN	Nacional e internacional	Internacional

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Evaluación:

TABLA III.XLV. Evaluación de canales de distribución

PARÁMETRO	ARDUINO	WASPMOTE
CANALES DE DISTRIBUCIÓN	3	1

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Análisis:

De acuerdo a la información obtenida en la evaluación de los canales de distribución se tiene que la plataforma Arduino cuenta con canales de distribución nacional e internacional mientras que Waspnote solo cuenta con canales de distribución internacional, por lo que se concluye que Arduino ofrece mayores canales de distribución que Waspnote.

3.3.8 Aplicación, componentes y accesorios

COMPONENTE:	General
TIPO:	General

Especificación:

TABLA III.XLVI. Especificación de aplicación, componentes y accesorios

PARÁMETRO	ARDUINO	WASPMOTE
APLICACIÓN	Prototipado, Aplicaciones limitadas	Prototipado Aplicaciones reales avanzadas
COMPONENTES Y ACCESORIOS	Variado conjunto de componentes para aplicaciones de nivel básico de RSI	Variado conjunto de componentes para aplicaciones específicas RSI

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Evaluación:

TABLA III.XLVII. Evaluación de aplicación, componentes y accesorios

PARÁMETRO	ARDUINO	WASPMOTE
APLICACIÓN	1	3
COMPONENTES Y ACCESORIOS	1	3
PROMEDIO:	1	3

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Análisis:

De acuerdo a la información obtenida en la evaluación de la aplicación, componentes y accesorios, Waspnote ofrece un mayor, amplio y variado conjunto de componentes que la plataforma Arduino, ya que Waspnote se encuentra orientado a la implementación de aplicaciones específicas con mayores requerimientos y cuyos componentes y accesorios son compatibles solo con la plataforma, mientras que Arduino ofrece un limitado conjunto de componentes lo cual imposibilita la implementación de la plataforma en la implementación de aplicaciones más avanzadas con requerimientos especiales.

3.3.9 Soporte técnico e información

COMPONENTE:	General
TIPO:	General

Especificación:

TABLA III.XLVIII. Especificación de soporte técnico e información

PARÁMETRO	ARDUINO	WASPMOTE
SOPORTE TECNICO E INFORMACIÓN	Web, foros, folletos a nivel medio.	Web, foros, folletos, soporte personalizado a nivel avanzado.

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Evaluación:

Tabla III.XLIX. Evaluación de soporte técnico e información

PARÁMETRO	ARDUINO	WASPMOTE
SOPORTE TECNICO E INFORMACIÓN	1	3

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Análisis:

De acuerdo a la investigación y evaluación del soporte técnico e información, Waspnote ofrece un mayor nivel de soporte técnico que la plataforma Arduino, debido a que cuenta con un portal web que publica información actualizada sobre la tecnología, configuración de equipos, foros, soporte personalizado ofreciendo respuestas inmediatas ante la solución de problemas complejos, mientras que de la plataforma Arduino se puede conseguir información a través del internet pero para la solución de problemas complejos se dificulta la obtención de información.

3.4 EVALUACIÓN

A continuación se presenta el resumen de la evaluación general realizada a las plataformas.

Tabla III.L. Evaluación general de las plataformas

No.	TIPO	PARÁMETROS	EVALUACIÓN	
			ARDUINO	WASPMOTE
1	Funcional	Hardware	2.29	1.71
2	Rendimiento	Disponibilidad	2	2
3	Rendimiento	Consumo de energía	1	3
4	Rendimiento	Alcance	1	3
5	Rendimiento	Procesamiento y transmisión	1	3
PROMEDIO:			1.458	2.542
6	Varios	Precios	3	1
7	Varios	Canales de distribución	3	1
8	Varios	Aplicación, componentes y accesorios	1	3
9	Varios	Soporte técnico e información	1	3
PROMEDIO:			2	2

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

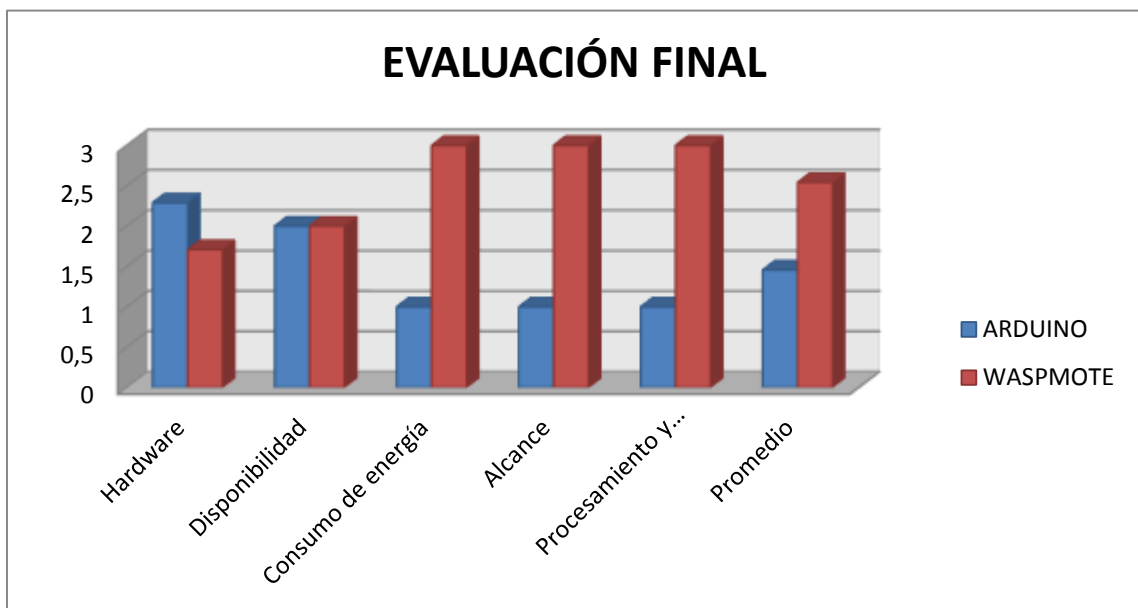


Figura III.46. Evaluación general de rendimiento
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

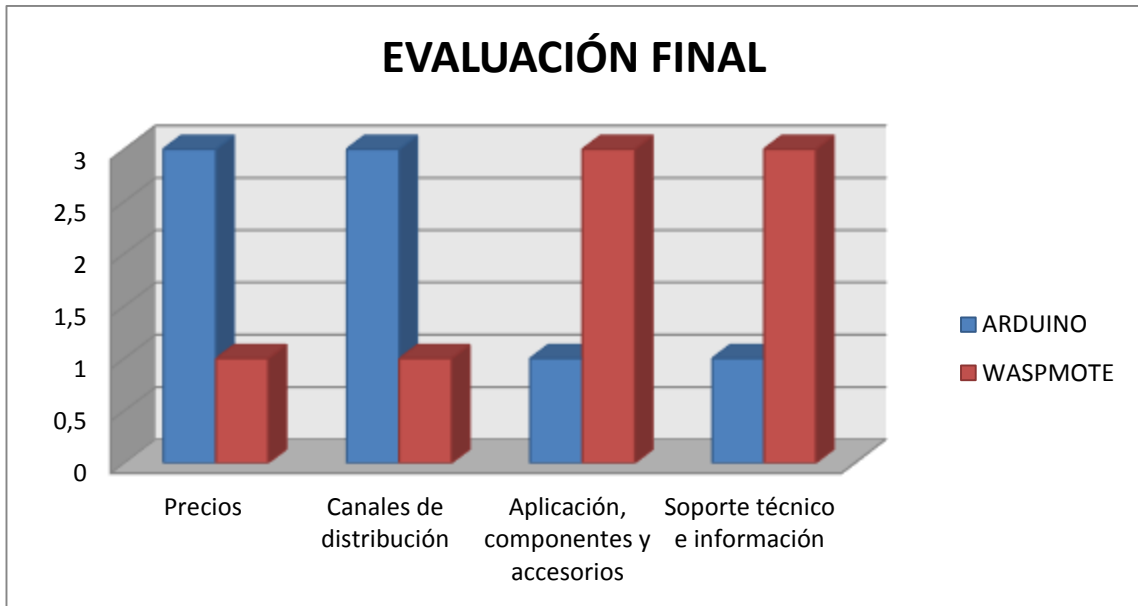


Figura III.47. Evaluación general
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

3.5 ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN

Durante el desarrollo del presente capítulo se realizó la construcción del prototipo de RSI que permita realizar la medición y evaluación de las plataformas Arduino y Waspnote a nivel de rendimiento, precios, canales de distribución, información disponible para la solución de problemas y la capacidad de equipos, componentes y accesorios que cada plataforma ofrece con la finalidad de seleccionar la mejor plataforma entre estas dos para la implementación de proyectos de RSI.

Basado en los resultados obtenidos se tiene:

- ✓ **Hardware:** De las placas evaluadas, la placa Arduino Mega 2560 presenta mayores características que la placa Waspnote PRO V1.2, ya que Arduino cuenta con un microcontrolador de mayores características, ofrece mayor cantidad de puertos de I/O, canales entre otros. Por otro lado Waspnote ofrece funcionalidades adicionales tales

como sockets y sensores incorporados. Las dos placas son utilizadas para la implementación de soluciones de RSI.

- ✓ **Rendimiento:** De las pruebas realizadas bajo el escenario planteado se constató que la plataforma Waspote ofrece un mayor grado de rendimiento a nivel de alcance de comunicaciones, procesamiento y transmisión de la información y consumo energético, mientras que en las pruebas de disponibilidad alcanzaron igual nivel de rendimiento.

- ✓ **Precios:** Los precios de los módulos, equipos y accesorios de la plataforma Arduino son mucho más económicos que la plataforma Waspote, pero que en comparación con los precios de otras tecnologías que se pueden utilizar para la implementación de mediciones de variables del entorno que no son RSI son muchos más económicos, razón por lo cual el precio de la implementación de cualquier proyecto de RSI mediante el uso de estas dos plataformas presenta una gran ventaja económica frente a otras tecnologías.

- ✓ **Tipo de aplicación, componentes y accesorios:** La mayoría de componentes y accesorios existentes en el mercado de las RSI son compatibles para las plataformas Arduino y Waspote, por lo que las dos plataformas pueden ser implementadas para la solución de aplicaciones que se puedan implementar con dichos componentes y accesorios. Adicionalmente, Waspote al ser una plataforma diseñada para la implementación de soluciones más específicas y de mayores requerimientos cuenta con una gama de componentes y accesorios adicionales compatibles solo con la

plataforma, lo cual hace que Wasmote tenga una ventaja frente a Arduino en la implementación de soluciones con mayores requerimientos.

- ✓ **Soporte técnico y disponibilidad de la información:** Wasmote al ser una plataforma nueva cuenta con una gran ventaja frente a Arduino en cuanto a soporte técnico y disponibilidad de la información ya que cuenta con un portal web que ofrece a los usuarios información actualizada y avanzada, publicación de manuales, foros, asistencia en línea, asistencia web pagada ante la solución de problemas, lo cual a los desarrolladores e implementadores de RSI facilita la implementación de los proyectos, mientras que con Arduino al ser una plataforma más antigua también cuenta con información, foros, manuales, etc a través del internet, pero que para la solución de problemas complejos no cuenta con un grupo de soporte técnico específico que facilite la implementación de soluciones RSI y la resolución de los inconvenientes se encuentra limitado a los foros de la comunidad Arduino.

- ✓ **Canales de distribución:** Arduino cuenta con canales de distribución nacionales e internacionales, lo cual facilita la adquisición de componentes para la implementación de cualquier proyecto de RSI, mientras que Wasmote en la actualidad solo cuenta con canales de distribución internacional y la venta de los equipos de la plataforma son realizados a través de la empresa Libelium de España. Por lo que la adquisición de los equipos y componentes para la implementación de cualquier proyecto de RSI será un punto importante de analizar al momento de elegir la plataforma a utilizar en la implementación de una solución de RSI.

Luego del análisis y evaluación de las plataformas se concluye que la selección de la mejor plataforma de RSI para diseñar cualquier sistema mediante el aprovechamiento y uso de las bondades y beneficios de la tecnología depende de las condiciones, escenarios y problemas que se requieran solucionar, por lo que de acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda seleccionar la plataforma a utilizar considerando los siguientes aspectos:

- ✓ Rendimiento requerido
- ✓ Presupuesto para la implementación
- ✓ Tipo de aplicación, existencia de equipos, componentes y accesorios que se requiera para la implementación del sistema.
- ✓ Soporte técnico y disponibilidad de información.
- ✓ Factibilidad de adquisición de equipos, componentes y accesorios.

La selección adecuada de la plataforma de RSI a utilizar basado en los aspectos expuestos garantizará de gran manera la implementación de la solución obteniendo los resultados esperados.

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS Y REQUERIMIENTOS.

4.1 ANÁLISIS DE LA UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN.

4.1.1 Descripción

A finales de 1998 -luego de 37 años- la vida del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), llega a su fin, en razón de las corrientes modernizadoras y privatizadoras de entonces, que inducían la segmentación de la cadena de actividades del servicio de energía eléctrica, la conformación de los denominados mercados eléctricos mayoristas como bolsas de negocio de este servicio, y la integración internacional de los mismos.

Como consecuencia de la extinción del INECEL, se crearon las nuevas empresas privadas de generación y transmisión, quedando con domicilio en la provincia de Tungurahua dos de ellas: La Compañía de Generación Hidroeléctrica, Agoyán - HIDROAGOYÁN S.A. y la Compañía de Generación Hidroeléctrica Pisayambo - HIDROPUCARÁ S.A., con el fondo de solidaridad como su único accionista. En corto tiempo se produce la fusión por

absorción entre estas dos empresas, y queda exclusivamente HIDROAGOYÁN S.A - inscrita en el Registro Mercantil el 27 de enero de 1999- para encargarse de la producción de energía en las centrales Agoyán y Pucará, ubicadas en los cantones de Baños y Píllaro respectivamente.

Durante 10 años, HIDROAGOYÁN S.A. operó como empresa privada autónoma, hasta que en el gobierno actual del Eco. Rafael Correa, se decide nuevamente reformar el sector eléctrico ecuatoriano. El Fondo de Solidaridad como único accionista de varias empresas, lidera la fusión de: Electroguayas S.A., Hidroagoyán S.A., Hidropaute S.A., Termoesmeraldas S.A., Termopichincha S.A., y Transelectric S.A., en una sola empresa de generación y transmisión de energía denominada: Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC S.A., inscrita en el Registro Mercantil el 26 febrero de 2009.

Finalmente, bajo el amparo de la ley de Empresas Públicas, se emite el Decreto Ejecutivo N° 220 del 14 de enero de 2010, que crea la Empresa Pública Estratégica CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR - CELEC E.P., como resultado de la fusión de las empresas: Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC S.A. e Hidroeléctrica Nacional - Hidronación S.A.

En la actualidad, HIDROAGOYAN es una de las Unidades de Negocio de CELEC E.P. que se encarga de la administración de la producción de las centrales Hidroeléctricas Agoyán, Pucará, y San Francisco.

4.1.2 Misión

“Contribuimos al desarrollo integral del país generando energía eléctrica con calidad y eficiencia, mediante el aprovechamiento óptimo y responsable de los recursos naturales, con el aporte de su talento humano comprometido y competente, enmarcados en el respeto a la comunidad y el ambiente”

4.1.3 Visión

“Ser la empresa pública líder, que garantiza la soberanía eléctrica e impulsa el desarrollo del Ecuador”.

4.1.4 Organigrama

El organigrama de la empresa se puede visualizar en el **ANEXO C**.

4.1.5 Instalaciones

A continuación se realiza una breve descripción de las instalaciones:

4.1.5.1 Oficinas Administrativas



FIGURA IV.48. Oficinas Administrativas
Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán

Las oficinas administrativas de la Unidad de Negocio Hidroagoyán se encuentran ubicadas en la ciudad de Baños, en el Campamento Los Pinos, lugar donde trabaja el personal directivo y administrativo de la empresa.

Adicionalmente, para brindar el apoyo al personal de producción, se cuenta con oficinas administrativas ubicadas en las Centrales Hidroeléctricas de Agoyán y Pisayambo.

4.1.5.2 Central Hidroeléctrica Pucará



FIGURA IV.49. Central Hidroeléctrica Pucará
Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán

La Central Hidroeléctrica Pucará se encuentra ubicada a 35 Km del cantón Píllaro, en el sector de San José de Poaló, fue construida durante el período de 1972 a 1978, fue concebida para generar 75 Mw mediante el funcionamiento de sus dos unidades generadoras que son alimentadas por las Aguas del embalse de Pisayambo.

4.1.5.3 Central Hidroeléctrica Agoyán



FIGURA IV.50. Central Hidroeléctrica Agoyán
Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán

La Central Hidroeléctrica de Agoyán se encuentra ubicada en el cantón Baños de Agua Santa en el Km 6 de la Vía Baños – Puyo, fue construida durante el período de 1982 a 1987 y fue concebida para generar 153 Mw mediante el funcionamiento de sus dos unidades generadores que son alimentadas por las aguas del embalse de Agoyán.

4.1.5.4 Central Hidroeléctrica San Francisco



FIGURA IV.51. Central Hidroeléctrica San Francisco
Fuente: CELEC EP – Hidroagoyán

La Central Hidroeléctrica de San Francisco se encuentra ubicada en el cantón Baños de Agua Santa en el Km 26 de la Vía Baños – Puyo y fue construida durante el período de 2004 al 2007 y fue concebida para generar 212 Mw a través del funcionamiento de sus dos unidades generadoras que son alimentadas por las aguas turbinadas de la Central Agoyán que son conducidas a través de un túnel de 10 Km de longitud hasta la Central Hidroeléctrica San Francisco.

4.1.5.5 Embalse de Agoyán



FIGURA IV.52. Embalse de Agoyán
Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán

El embalse de Agoyán se encuentra ubicado en el caserío Agoyán en el Km 5 de la vía Baños- Puyo. Embalse que fue construido para aprovechar las aguas de la cuenca del río Pastaza que tiene una extensión de 8270 Km² en las provincias de Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua.

Al embalse de Agoyán principalmente aportan los ríos Chambo y Patate encontrándose el nivel máximo del embalse a una altitud de 1651 m.s.n.m.

Uno de los componentes importantes de la presa son los desagües de fondo los que están diseñados para la protección de la presa. Los desagües de fondo en el embalse de Agoyán se encuentran ubicados en el centro de la presa y está compuesto por dos compuertas, una radial que se usa para el trabajo normal de evacuación de agua y sólidos, y una plana que sirve para realizar reparaciones en la compuerta radial. La capacidad máxima de desfogue es de 1000 m³/seg.

4.1.5.6 Embalse de Pisayambo



FIGURA IV.53. Embalse de Pisayambo
Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán

El embalse de Pisayambo se encuentra ubicado en la Cordillera Oriental de los Andes, dentro del Parque Nacional Llanganates aproximadamente a 65 Km. de Píllaro Provincia del Tungurahua a una altitud de 3.537 m.s.n.m. con una extensión de 8 Km² y a una distancia aproximadamente de 30 Km de la central de Pucará.

Al embalse de Pisayambo aportan los Ríos: Roncador, Milín, Tambo, Talatag, Quillopaccha y Agualongopungo, aguas que son conducidas al embalse mediante obras de captación.

La presa Pisayambo tiene un volumen total de almacenamiento de 100'706.000 metros cúbicos de agua, de los cuales 90'000.000 de metros cúbicos son de volumen útil. La cota de nivel máximo de almacenamiento es de 3565.00 m.s.n.m. y la cota de nivel mínimo de operación es de 3541.00 m.s.n.m.

La toma de carga está compuesta por dos compuertas rectangulares; una denominada de servicio, que permite el cierre o apertura de flujo de agua hacia cada una de las unidades de la Central y una para mantenimiento, cada una con sus respectivos gatos hidráulicos. La toma de agua está diseñada para el flujo máximo de 18.6m³/seg. y trabaja con presión equilibrada.

El desagüe de fondo se encuentra ubicado en el centro de la presa, encontrándose la solera de ingreso en la cota a 3532.964 m.s.n.m. con una longitud de 238.00 m y una capacidad máxima de desfogue del conducto de 20 m³/seg. [14].

4.1.6 Ejecución de proyectos tecnológicos

La planeación, contratación y ejecución de los proyectos tecnológicos para las Centrales Hidroeléctricas, en la actualidad es realizado por el departamento de Mantenimiento e Ingeniería de la Producción en coordinación con los demás departamentos afines al proyecto.

4.2 ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIONES EXISTENTE

4.2.1 Alcance

La Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP Unidad de Negocio Hidroagoyán cuenta con un sólido sistema de comunicaciones que permite brindar los servicios de voz y datos a las Centrales Hidroeléctricas Pucará, Agoyán, San Francisco, Embalses de Agoyán, Pisayambo y a las oficinas Administrativas del Campamento Los Pinos.

La infraestructura de comunicaciones de Hidroagoyán es extensa, razón por la cual el contenido del presente apartado contempla el estudio y análisis de la infraestructura de comunicaciones que permite interconectar los Embalses de Agoyán y Pisayambo para establecer el diseño de la red de sensores inalámbricos.

Para el desarrollo de este inciso se contó con el apoyo del personal del departamento de Tecnologías de la Información y Comunicaciones quienes fueron los encargados de proporcionar la información y supervisar las mediciones y pruebas.

4.2.2 Infraestructura

La red de comunicaciones de Hidroagoyán cuenta con varios sitios ubicados en diferentes lugares los mismos que permiten interconectar la infraestructura de Hidroagoyán. La Tabla IV.LI. presenta la infraestructura de comunicaciones.

TABLA IV.LI. Infraestructura de comunicaciones

No.	SITIO	UBICACIÓN	COORDENADAS
1	Agoyán - Embalse	Cantón Baños	Lat: 01°23'56" S Long: 78°22'58" W
2	Agoyán - Oficinas Administrativas	Cantón Baños	Lat: 01°23'54" S Long: 78°22'39" W
3	Los Pinos - Oficinas Administrativas	Cantón Baños	Lat: 01°23'28.6" S Long: 78°24'51.4" W
4	Cerro Cotaló	Cantón Pelileo	Lat: 01°24'17.1" S Long: 78°29'51.36" W
5	Cerro Nitón	Cantón Ambato	Lat: 01°16'31" S Long: 78°32'10" W
6	Ambato – Oficinas	Cantón Ambato	Lat: 01°14'43" S Long: 78°37'54" W
7	Pucará – Oficinas Administrativas	Cantón Pillaro	Lat: 01°4'44.5" S Long: 78°27'14.93" W
8	Cerro Chimenea Equilibrio - Salto 1	Cantón Pillaro	Lat: 01°4'47" S Long: 78°26'54" W
9	Cerro Morarrumi - Salto 2	Cantón Pillaro	Lat: 01°4'27,6" S Long: 78°25'59" W
10	Cerro Coriucto - Salto 3	Cantón Pillaro	Lat: 01°4'33" S Long: 78°25'57" W
11	Cerro Chachacoma - Salto 4	Cantón Pillaro	Lat: 01°4'37.6" S Long: 78°23'59.6" W
11	Pisayambo – Embalse	Cantón Pillaro	Lat: 01°4'30" S Long: 78°24'5" W

Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán

La ubicación geográfica de las instalaciones de comunicaciones se puede visualizar en el **ANEXO D.**

La Figura IV.54. presenta fotografías de los sitios e infraestructura de comunicaciones.

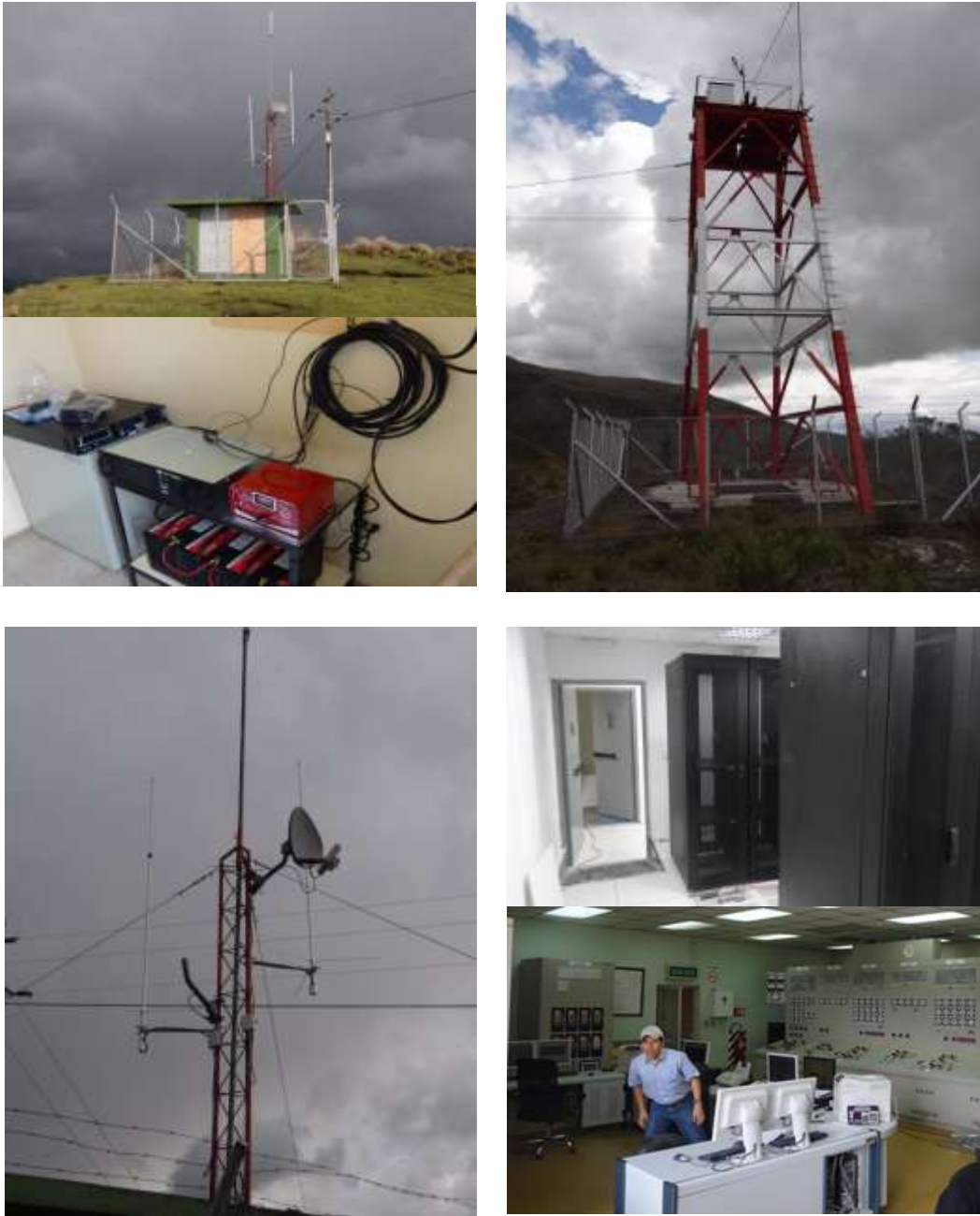


FIGURA IV.54. Fotografías de las instalaciones
Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán

4.2.3 Esquema general de comunicaciones

A continuación se presentan los esquemas generales de conectividad de la red de comunicaciones.

CELEC EP - HIDROAGOYÁN ESQUEMA GENERAL DE COMUNICACIONES

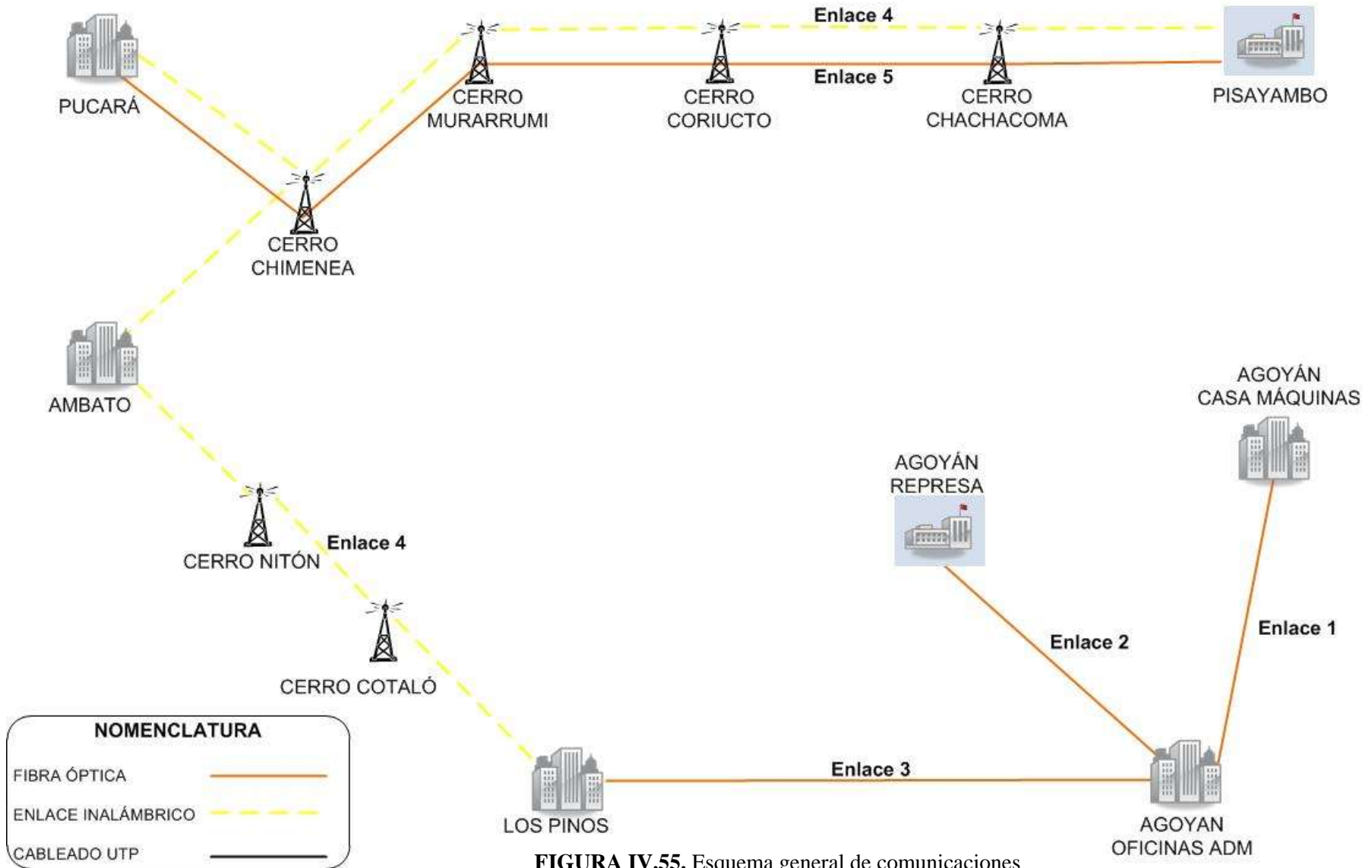


FIGURA IV.55. Esquema general de comunicaciones
Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán

CELEC EP - HIDROAGOYÁN

ESQUEMA GENERAL DE CONECTIVIDAD DE COMUNICACIONES

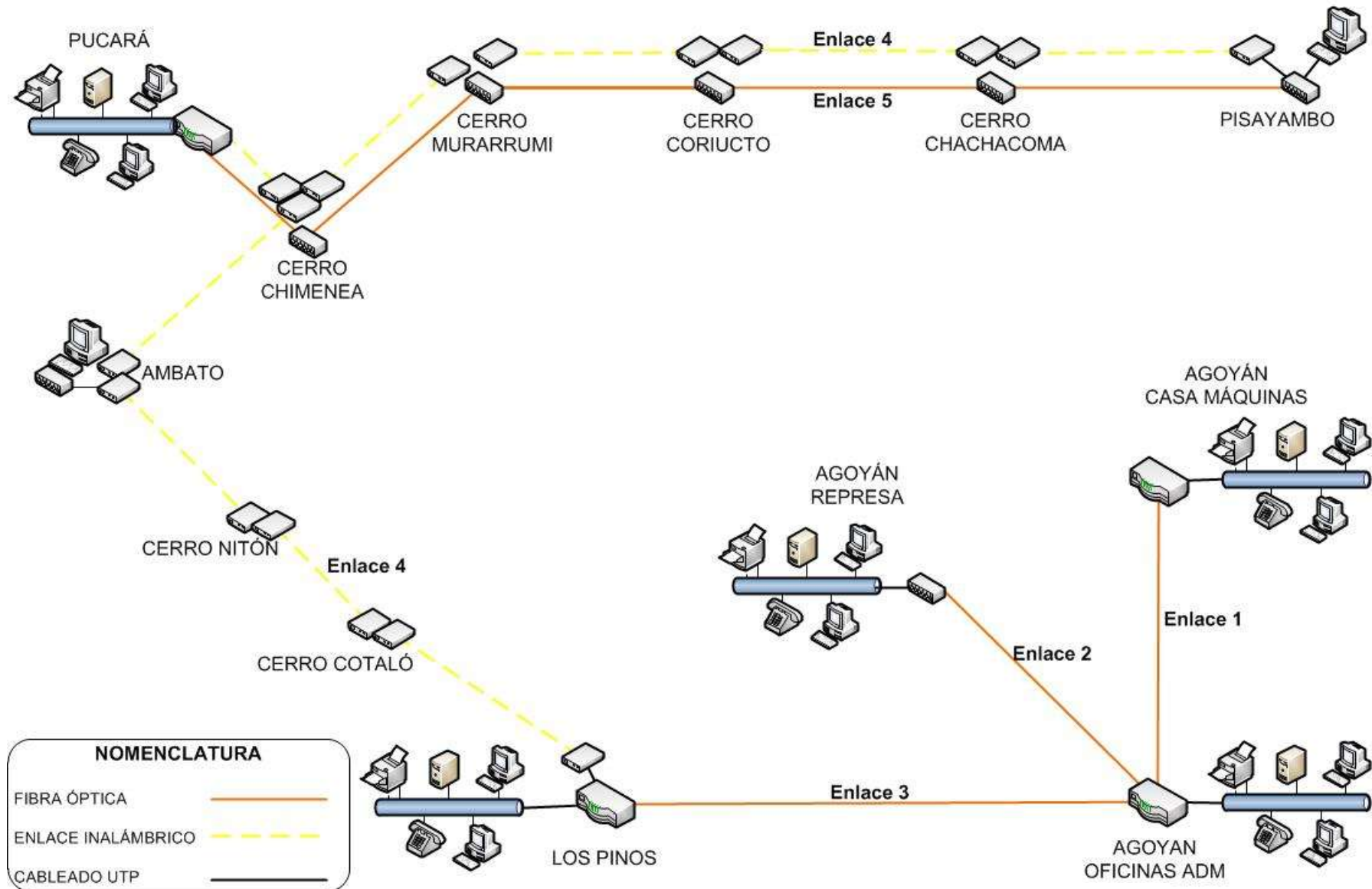


FIGURA IV.56. Esquema general de conectividad de comunicaciones

Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán

4.2.4 Enlaces

De acuerdo al esquema de comunicaciones presentado en las Figuras IV.55 y IV.56, la Tabla IV.LII describe los enlaces de comunicaciones existentes:

TABLA IV.LII. Enlaces de comunicaciones

No	DESCRIPCIÓN	TIPO	CAPACIDAD
1	Agoyán Oficinas – Agoyán Casa Máquinas	Fibra óptica	100 Mbps
2	Agoyán Oficinas – Agoyán Embalse	Fibra óptica	100 Mbps
3	Agoyán Oficinas – Agoyán Los Pinos	Fibra óptica	1 Gbps
4	Los Pinos – Pucará – Pisayambo	Inalámbrico	20 Mbps
5	Pucará – Pisayambo	Fibra óptica	100 Mbps

Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán

Los enlaces de fibra óptica permiten interconectar las instalaciones según se detalla en la Tabla IV.LII, los mismos que están formados por una fibra óptica monomodo de 12 hilos. En la actualidad, los enlaces de fibra óptica permiten conectar directamente las instalaciones a diferencia del enlace número 5 instalado entre las instalaciones de Pucará y Pisayambo, el mismo que realiza saltos en las instalaciones de los Cerros Chimenea, Murarrumi, Coriucto y Chachacoma.

Para la interconexión entre las oficinas de Agoyán, Pucará y Pisayambo, Hidroagoyán cuenta con conjunto de enlaces de radio bajo la plataforma Canopy de Motorola que trabajan bajo la banda de frecuencia de 2.4 Ghz con un ancho de banda de 20 Mbps.

Para el enlace inalámbrico entre Agoyán y Pucará se cuenta con puntos de repetición en el Cerro Cotaló, Cerro Nitón, Oficinas de Ambato y Cerro Chimenea. Mientras que el enlace inalámbrico entre Pucará y Pisayambo en la actualidad es utilizado como enlace

de respaldo y cuenta con puntos de repetición en los Cerros Chimenea, Murarrumi, Coriucto y Chachacoma.

4.2.5 Equipos de comunicaciones instalados

La Tabla IV.LIII. presenta los equipos de comunicaciones instalados.

TABLA IV.LIII. Equipos de comunicaciones

No.	EQUIPO	CARACTERÍSTICA	CANTIDAD
AGOYAN – OFICINAS ADMINISTRATIVAS			
1	Router	Cisco 2921, - Preparado para el manejo de voz y datos - 3 Puertos Gigabit Ethernet	1
2	Switch	Cisco 2960T, - 24 Puertos Fast Ethernet - 2 Puertos Gigabit Ethernet FO	1
3	Transeiver	TP-Link MC110CS, - Fibra Optica Monomodo - 2 Hilos - Fast Ethernet	1
		TP-Link MC210CS, - Fibra Optica Monomodo - 2 Hilos - Gigabit Ethernet	1
AGOYAN – CASA DE MÁQUINAS			
4	Router	Cisco 2811, - Preparado para el manejo de voz y datos - 2 Puertos Fast Ethernet	1
5	Switch	Cisco 2950, - 24 Puertos Fast Ethernet	1
6	Transeiver	TP-Link MC110CS, - Fibra Optica Monomodo - 2 Hilos - Fast Ethernet	1
AGOYAN – REPRESA			
7	Switch	Cisco 2960T, - 24 Puertos Fast Ethernet - 2 Puertos Gigabit Ethernet FO	1
LOS PINOS			
8	Router	Cisco 2921, - Preparado para el manejo de voz y datos - 2 Puertos Gigabit Ethernet	1
9	Switch	Cisco 2950, - 24 Puertos Fast Ethernet	1

10	Transeiver	TP-Link MC210CS, - Fibra Optica Monomodo - 2 Hilos - Gigabit Ethernet	1
11	Radio	Motorola Canopy	1
CERRO COTALÓ			
12	Radio	Motorola Canopy	2
CERRO NITÓN			
13	Radio	Motorola Canopy	2
AMBATO			
14	Switch	HP 1905 - 24 Puertos Fast Ethernet - 2 Puertos Gigabit Ethernet	1
15	Radio	Motorola Canopy	2
CERRO CHIMENEA			
16	Switch	HP 1905 - 24 Puertos Fast Ethernet - 2 Puertos Gigabit Ethernet	1
17	Radio	Motorola Canopy	3
PUCARÁ			
18	Router	Cisco 2811	1
19	Switch	Cisco 2950, - 24 Puertos Fast Ethernet	1
20	Transeiver	TP-Link MC110CS, - Fibra Optica Monomodo - 2 Hilos - Fast Ethernet	1
21	Radio	Motorola Canopy	1
CERRO MURARRUMI			
22	Radio	Motorola Canopy	2
CERRO CORIUCTO			
23	Radio	Motorola Canopy	2
CERRO CHACHACOMA			
24	Radio	Motorola Canopy	2
PISAYAMBO			
25	Switch	HP 1905 - 24 Puertos Fast Ethernet - 2 Puertos Gigabit Ethernet	1
26	Transeiver	TP-Link MC110CS, - Fibra Optica Monomodo - 2 Hilos - Fast Ethernet	1
27	Radio	Motorola Canopy	1

Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán -Trabajo de campo

4.2.6 Direccionamiento IP

El direccionamiento IP que actualmente se encuentra instalado en la empresa se puede visualizar en la Tabla IV.LIV.

TABLA IV.LIV. Direccionamiento IP

No.	DIRECCIÓN	MÁSCARA	UBICACIÓN
1	172.16.84.0	255.255.255.0	Los Pinos
2	172.16.86.0	255.255.255.0	Pucara – Pisayambo
3	172.16.88.0	255.255.255.0	Agoyán Oficinas Adm y Represa
4	172.16.89.0	255.255.255.0	Agoyan Edificio de control

Fuente: CELEC EP - Hidroagoyán

4.2.7 Tráfico de la red

Con la información obtenida del análisis de la red de comunicaciones para la interconexión de la Represa de Agoyán con Pisayambo se ha identificado que el enlace de comunicaciones inalámbrico entre Los Pinos y Pucará con un ancho de banda de 20 Mbps es el enlace más vulnerable y que se considera que puede tener mayores problemas de congestión y con la finalidad de identificar la ocupación del canal en las horas picos se procedió a medir el tráfico en dicho enlace.

Las mediciones se realizaron a la entrada del router ubicado en las oficinas de los Pinos durante 8 días, en el horario de 7:30 am - 12 pm, considerándose como hora pico de 7:30 a 9:00 y de 9:00 a 12:00 como tráfico normal.

Durante dicho tiempo se recabó la información del tráfico de la red con la utilización de las siguientes herramientas:

- ✓ Colasoft Capsa 7 Network Analyzer [12],
- ✓ NetFlow Analyzer Enterprise 9 [31],
- ✓ Wireshark [48]

La figura IV.57., presenta un ejemplo del tráfico capturado

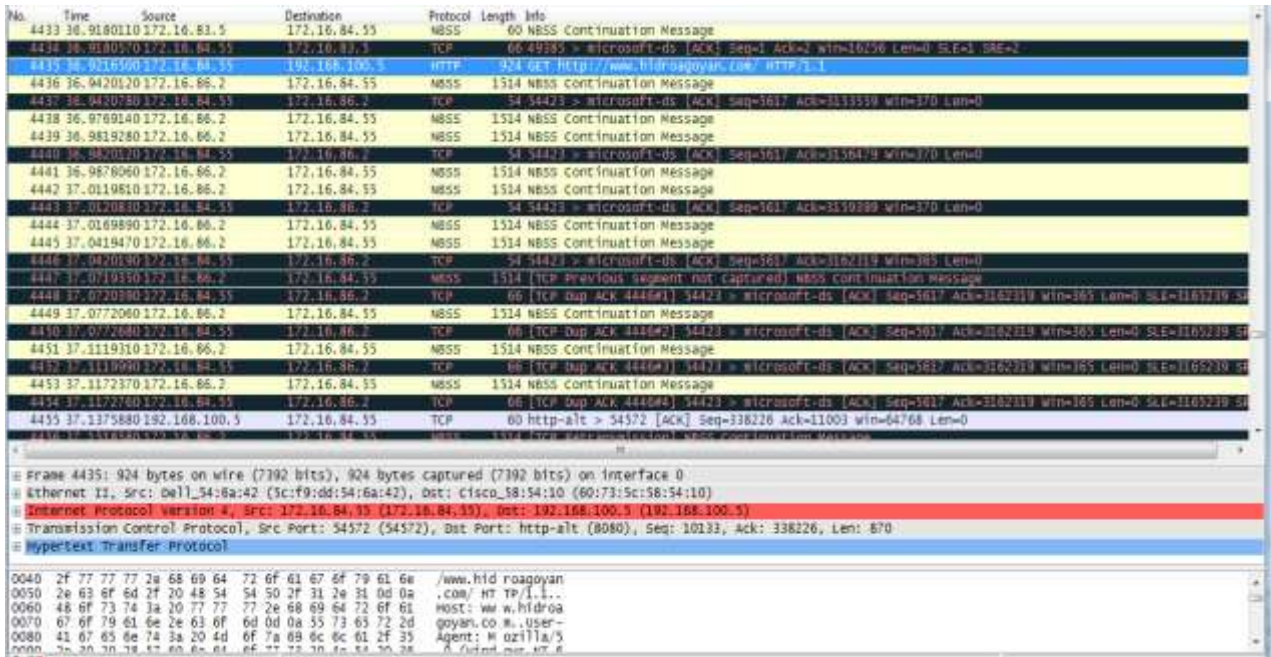


FIGURA IV.57. Ejemplo del tráfico capturado
Fuente: CELEC EP – Hidroagoyán - Trabajo de campo

Una vez recopilada la información del monitoreo se procedió a analizar y tabular. La Figura IV.58. presenta el porcentaje promedio de paquetes circundantes durante el tiempo monitoreado en horas pico.

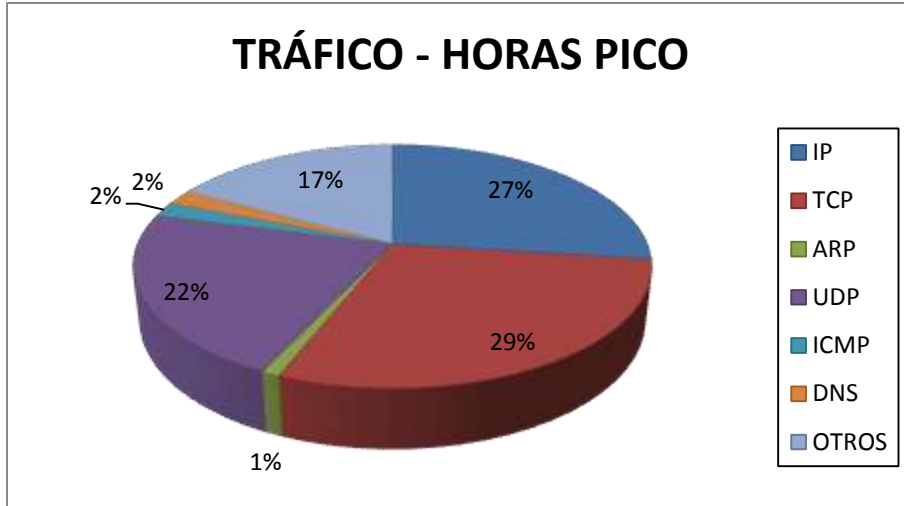


FIGURA IV.58. Promedio porcentaje de paquetes horas pico
Fuente: CELEC EP – Hidroagoyán - Trabajo de campo

Se ha identificado una utilización del canal del 68%, donde se tiene que del 100% de paquetes del tráfico generado: el 29% corresponde a paquetes TCP, el 27 % a paquetes IP, el 22% a paquetes UDP, el 17% a paquetes varios, el 2% a tráfico de paquetes ICMP y DNS y el 1% corresponde a tráfico ARP.

La Figura IV.59. presenta el porcentaje promedio de paquetes circundantes durante el tiempo de monitoreo en horas consideradas de tráfico normal.

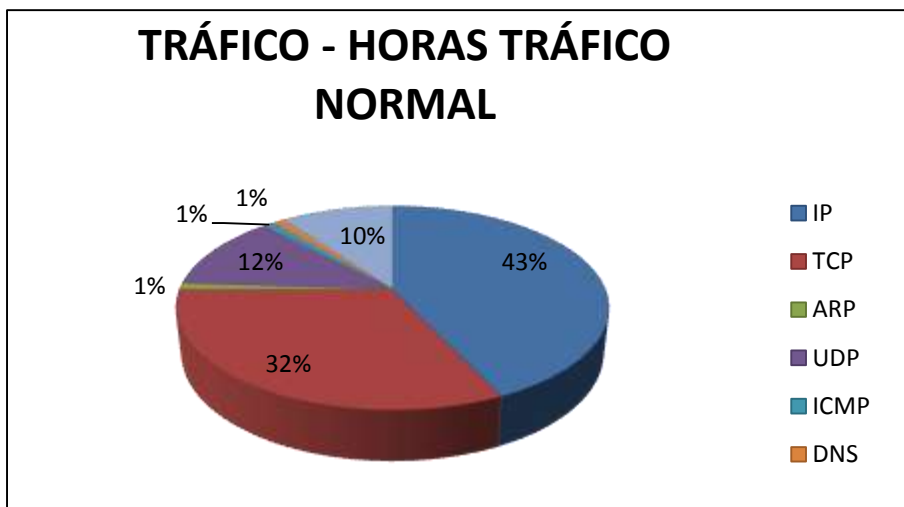


FIGURA IV.59. Promedio porcentaje de paquetes horas de tráfico normal
Fuente: CELEC EP – Hidroagoyán - Trabajo de campo

Según los datos obtenidos del monitoreo en las horas considerado de tráfico normal, se ha identificado una utilización del canal del 27% donde se tiene que del 100% de paquetes del tráfico generado: el 43% corresponde a paquetes IP, el 32 % a paquetes TCP, el 12% a paquetes UDP, el 10% a paquetes varios y el 1% a tráfico de paquetes ICMP, DNS y ARP.

Con la utilización del comando Ping y la herramienta VE Network Catcher Lite se realizó la medición de los parámetros de la red de los enlaces Aگویán Embalse – Los Pinos, Los Pinos – Pucará y Aگویan Embalse – Pisayambo durante las horas pico y horas de tráfico normal para determinar la latencia, pérdida de paquetes, disponibilidad y continuidad del sistema, de lo cual se obtuvo los promedios presentados en la Tabla IV.LV.

TABLA IV.LV. Medición de los parámetros de tráfico de la red

DESCRIPCIÓN	CANAL					
	AGOYÁN - PINOS		PINOS -PUCARA		AGOYÁN – PISAY	
Capacidad del Canal	100 Mbps		20 Mbps		20 Mbps	
% Utilización Horas Pico	43 %		68 %		68 %	
% Utilización Horas normales	19 %		27 %		27 %	
Disponibilidad	100 %		100 %		100 %	
Transferencia promedio	6,4 Mbps		79,9 Kbps		78,3 Kbps	
DESCRIPCIÓN	MEDIDA – PROMEDIOS					
	PICO		NORMAL		NORMAL	
Latencia promedio	1,83 ms	1 ms	24,25 ms	17,75 ms	26,5 ms	20,34 ms
Latencia máxima	6 ms	4 ms	71,75 ms	42 ms	73,25 ms	51,67 ms
Latencia mínima	< 1 ms	< 1 ms	15 ms	14,25 ms	16,75 ms	15,53 ms
Variación Latencia promedio (Jitter)	< 1 ms	< 1 ms	2 ms	1 ms	2 ms	1 ms
Pérdida de paquetes	0 %	0 %	0,0001%	0,000001%	0,0001%	0,000001%

Fuente: CELEC EP – Hidroagoyán - Trabajo de campo

La Figura IV.60, presenta el promedio de las mediciones del tráfico realizado en los enlaces de comunicaciones de la red.

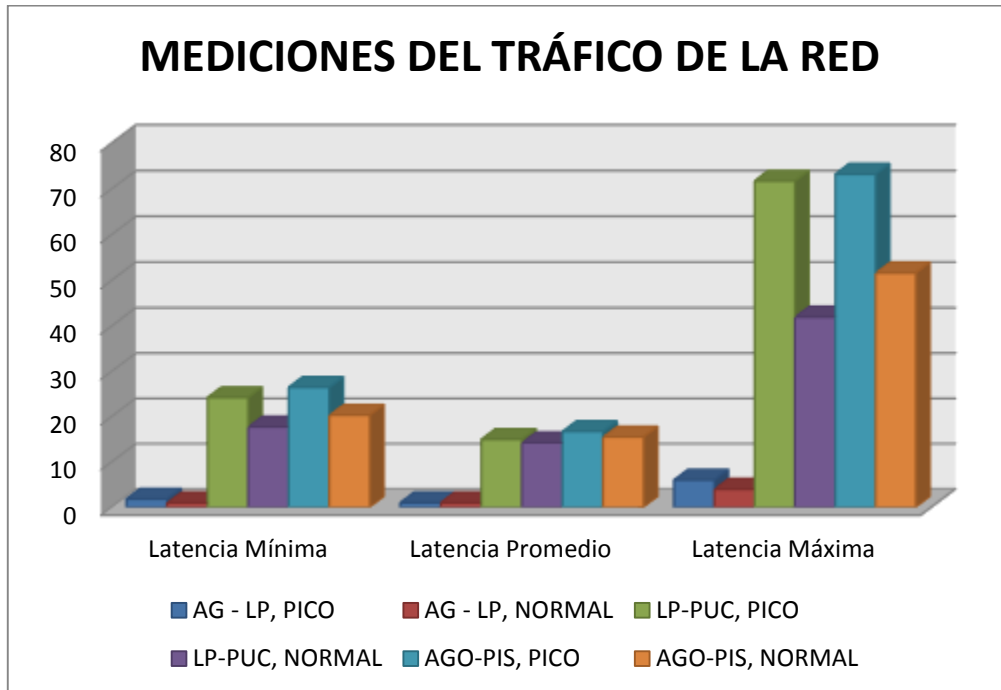


FIGURA IV.60. Mediciones del tráfico de la red
Fuente: CELEC EP – Hidroagoyán - Trabajo de campo

4.2.8 Análisis de la red de comunicaciones

Durante el desarrollo del análisis y visita a las instalaciones de Hidroagoyán se constató la forma en la que opera el personal del departamento de Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones ante la solución de problemas e implementación de nuevas soluciones tecnológicas, así como se pudo constatar la infraestructura de comunicaciones que posee la Unidad de Negocio Hidroagoyán.

La Tabla IV.LVI, presenta un resumen del análisis de la red de comunicaciones.

TABLA IV.LVI. Análisis de la red de comunicaciones

No.	ÍTEM	ANÁLISIS INFRAESTRUCTURA	OBSERVACIÓN
1	Instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hidrogoyán cuenta con infraestructura propia. ✓ Cuenta con puntos de repetición ubicados en varios Cerros. ✓ Torres de diferentes tamaños instalados en los Cerros. ✓ Instalaciones adecuadas para albergar el equipamiento tecnológico. ✓ Mantenimiento civil adecuado. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hidrogoyán al contar con infraestructura propia facilita el acceso a las instalaciones ya sea por la implementación de nuevas soluciones tecnológicas o por mantenimiento.
2	Centro de Datos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ubicado en las Oficinas Administrativas de Aگویán ✓ Localidad diseñada e implementada para brindar un alto grado de seguridad y disponibilidad. ✓ Centro destinado a instalar todo el equipamiento tecnológico. ✓ Instalación que alberga el equipamiento crítico (servidores, almacenamiento, equipos de comunicaciones, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Todo proyecto a implementar debe considerar instalar en esta localidad todo el equipamiento de almacenamiento de datos.
3	Sistemas de respaldo de energía	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuenta con equipos de respaldo de energía UPS y sistemas de generación de energía alterna (generadores), instalados en los Centros de Datos u Oficinas donde se albergan los equipos de comunicaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hidrogoyán cuenta con sólidos sistemas de respaldo de energía, que minimizan la falla de la red de comunicaciones por la falta del suministro eléctrico.

		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuenta con sistemas de respaldo de energía basado en baterías, instalados en los Cerros donde se albergan los equipos de comunicaciones, diseñados para brindar autonomía eléctrica mínimo 48 horas. 	
REDES Y COMUNICACIONES			
4	Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuenta con equipamiento de última tecnología. ✓ El 90% del equipamiento de networking es basado en tecnología CISCO. ✓ Equipamiento para el manejo de voz y datos. ✓ Cuento con Stock de repuestos. ✓ Configuraciones aplicando QoS para ofrecer un alto grado de disponibilidad de los servicios de comunicaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Al trabajar con equipamiento de networking de tecnología Cisco, al existir algún problema grave en alguno de los módulos de comunicación es fácil encontrar en el mercado los repuestos minimizando así el tiempo de paralización de los servicios.
5	Enlaces	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Enlaces con el uso de diferentes tecnologías Fibra Óptica e Inalámbrico. ✓ Diseñado de acuerdo a los requerimientos de la empresa. ✓ Niveles de transmisión de acorde a lo requerido. ✓ Los enlaces inalámbricos trabajan bajo la Plataforma Canopy. ✓ Velocidad de transmisión en los enlaces de Fibra Óptica: 10, 100, 1000 Mbps. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La utilización del canal de los enlaces inalámbricos entre Los Pinos y Pucará es del 68 %, ofreciendo una disponibilidad del 32 % de su capacidad para la implementación de nuevas soluciones tecnológicas.

		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Velocidad de transmisión en los enlaces Inalámbricos: 20 Mbps. 	
ADMINISTRACIÓN Y SEGURIDAD			
6	Seguridad Física y Lógica	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El acceso a cada una de las instalaciones es restringido solo al personal autorizado. ✓ En algunos lugares, se cuenta con sistemas de control de acceso biométrico. ✓ Se cuenta con firewalls para el acceso a redes externas a la institución. ✓ El acceso al equipamiento tecnológico para realizar cambios o configuraciones se encuentra restringido. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Para el acceso a la infraestructura de comunicaciones se debe coordinar con el personal del departamento de Tecnologías de la información y Telecomunicaciones.
7	Gestión de la red	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuenta con Planes de Mantenimiento. ✓ Planificación de la implementación de nuevas soluciones tecnológicas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La gestión y mantenimiento de la red de comunicaciones es realizado por el departamento de TIC.

Fuente: CELEC EP – Hidroagoyán - Departamento de TIC y trabajo de campo

4.2.9 Conclusiones del análisis de la red de comunicaciones

- ✓ La unidad de negocio Hidroagoyán de CELEC EP, cuenta con una sólida y robusta infraestructura de comunicaciones lo que permite garantizar y brindar excelentes servicios de comunicaciones de voz y datos durante la operación y mantenimiento de las Centrales Hidroeléctricas.

- ✓ La red de comunicaciones de Hidroagoyán se encuentra implementada utilizando tecnología de punta aprovechando al máximo las bondades y beneficios que las tecnologías de comunicaciones ofrecen.

- ✓ La administración y gestión de la red se encuentra a cargo de personal muy capacitado lo que permite la solución rápida de problemas e implementación de nuevas soluciones aprovechando al máximo la infraestructura existente.

- ✓ La red de comunicaciones que permite interconectar los embalses de Agoyán y Pisayambo, en su enlace más crítico ubicado entre: Los Pinos y Pucará, durante las horas pico se ha constatado que se encuentra operando al rededor del 68 %, ofreciendo una disponibilidad del 32 % de su capacidad, la misma que puede ser utilizada para la implementación de nuevas soluciones tecnológicas que requieran la conectividad mediante la red de comunicaciones.

4.3 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

4.3.1 Requerimiento General

Buscar una solución tecnológica que permita monitorear los embalses de Agoyán y Pisayambo desde los centros de control ubicados en las Centrales Hidroeléctricas de Pucará, Agoyán y San Francisco.

4.3.2 Obtención de la información - Entrevista

Para la obtención de la información se aplicó la técnica de la entrevista al personal del departamento de Ingeniería y Operación de las Centrales Hidroeléctricas Agoyán y Pisayambo.

De los funcionarios entrevistados, el personal del departamento de Ingeniería son los encargados de ejecutar el proyecto, mientras que el personal de operación aportó con información técnica y requerimientos que necesitan para controlar los embalses durante la operación y mantenimiento de las Centrales Hidroeléctricas.

El formato de la entrevista aplicada se puede visualizar en el **ANEXO E**.

4.3.3 Análisis de requerimientos

La aplicación de la entrevista permitió conocer a fondo los detalles de los requerimientos necesarios para el monitoreo y control de los embalses, los mismos que se describen a continuación:

4.3.3.1 Definiciones

El detalle de las definiciones utilizadas en el monitoreo y control de los embalses se puede visualizar en el **ANEXO F**.

4.3.2.2 Actualidad del monitoreo de los embalses de Agoyán y Pisayambo

El monitoreo de los embalses de Agoyán y Pisayambo es realizado por el personal del departamento de operación de las Centrales de Agoyán y Pucará respectivamente.

En el embalse de Agoyán, en la actualidad no existe un sistema completo de monitoreo y solo se encuentra implementado un sistema de monitoreo automatizado del nivel del embalse de Agoyán y medición del caudal del Río Pastaza, los mismos que se encuentran incorporados al Sistema Digital (Sistema de monitoreo y control de la Central Hidroeléctrica Agoyán). Adicionalmente, el monitoreo del nivel del embalse también es realizado de una manera manual. El operador de turno del embalse de Agoyán aproximadamente cada hora toma la lectura de la regla de medición ubicada en el embalse y comunica vía radio al operador de turno en la sala de control ubicado en la casa de máquinas de Agoyán, quien es el encargado de verificar que la lectura tomada coincida con los datos obtenidos del sistema automatizado de medición para posteriormente registrar en la bitácora de operación.

En el embalse de Pisayambo, el monitoreo del nivel del embalse es realizado de una manera manual por el Guardia de Pisayambo, el mismo que aproximadamente dos veces

al día: 7:00 am y 16:00 pm toma la lectura de la regla de medición ubicada en el embalse y comunica vía radio al operador de turno en la sala de control ubicado en la casa de máquinas de Pucará, quien es el encargado de recibir la información y registrar en la bitácora de operación.

El monitoreo y control de los embalses desde la época de los inicios de operación de las Centrales Hidroeléctricas ha sido realizado manualmente, sin optimizar recursos, causando pérdidas de tiempo, en ocasiones teniendo problemas por el registro erróneo de los datos y más aún solo monitoreando los niveles del embalse.

En la actualidad, con el avance de la tecnología la Unidad de Negocio Hidroagoyán se encuentra en busca de una solución tecnológica que permita monitorear las diferentes variables físicas que forman parte del embalse, las mismas que por su ubicación geográfica y acceso a ellas limitan el uso e implementación de cualquier tecnología.

4.3.3.3 Consideraciones y requerimientos

A continuación se describen las consideraciones y requerimientos a tener en cuenta para la implementación de la solución tecnológica para el monitoreo de los embalses:

- ✓ Se requiere el diseño para la implementación de una solución tecnológica que permita monitorear los embalses de Agoyán y Pisayambo.

- ✓ Las instalaciones de los embalses de Agoyán y Pisayambo se encuentran distantes, razón por la cual la solución deberá contemplar la integración de la información del monitoreo de los dos embalses.

- ✓ En cada embalse, las variables que se requieren monitorear se encuentran distantes unas de otras, razón por la cual la instalación de algún tipo de cableado de transmisión de datos o de energía eléctrica es casi imposible instalar.

- ✓ La tecnología a utilizar deberá permitir instalar en cada lugar de monitoreo el mínimo de equipamiento e infraestructura posible para su correcto funcionamiento.

- ✓ Se requiere el monitoreo de las siguientes variables:
 - Caudal de los Ríos
 - Humedad
 - Nivel del embalse
 - Nivel de lluvia
 - Nivel de luminosidad
 - Temperatura del agua del embalse
 - Temperatura del ambiente
 - Velocidad del aire
 - Dirección del viento
 - Calidad del aire

- ✓ El sistema permitirá monitorear los embalses en tiempo real de ser posible a través de una interface Web desde los centros de control ubicados en las Centrales de Agoyán y Pucará.

- ✓ La información del monitoreo de los dos embalses, de ser posible se deberá almacenar en un solo depósito de datos y tener la capacidad de almacenar la información para consulta de datos históricos.

- ✓ El depósito de datos, de ser posible deberá estar almacenada en el DATACENTER de la empresa, el mismo que se encuentra ubicado en las Oficinas Administrativas de Agoyán.

- ✓ El sistema permitirá generar alarmas en el caso de que ciertos valores sobrepasen el rango permitido.

- ✓ El sistema permitirá generar reportes diarios y adaptar nuevos reportes.

- ✓ Hidroagoyán cuenta con una red de comunicaciones que permite conectar todas las instalaciones de la empresa, incluidos el DATACENTER y los embalses de Agoyán y Pisayambo.

- ✓ La propuesta deberá incluir todo el equipamiento e infraestructura necesaria para la puesta en marcha del sistema.

- ✓ De ser posible, la tecnología a utilizar deberá ser abierta, es decir que permita incrementar funcionalidades, puntos de monitoreo, mecanismos de control, cambios de formatos, programación, etc.

- ✓ La propuesta deberá aprovechar al máximo los recursos tecnológicos existentes en Hidroagoyán e integrarlos a la solución propuesta.

- ✓ La propuesta debe ser enfocada a buscar la mejor solución tecnológica aprovechando al máximo los recursos técnicos y económicos de la institución.

4.3.3.4 Requerimiento de monitoreo

La Tabla IV.LVII presenta los requerimientos de monitoreo para los embalses de Agoyán y Pisayambo.

TABLA IV.LVII. Requerimiento de monitoreo

No.	MEDICIONES	AGOYÁN		PISAYAMBO	
		CANT.	OBSERVACIÓN	CANT.	OBSERVACIÓN
1	Caudal	-	Ya existe la medición del Río Pastaza	6	Toma de los Ríos: - Roncador - Milín - Tambo - Talatag - Quillopaccha - Agualongopungo
2	Humedad	1		1	
3	Nivel embalse	-	Ya existe	1	
4	Nivel de lluvia	1		1	
5	Nivel de luminosidad	1		1	
6	Temperatura del agua	1		1	
7	Temperatura del ambiente	1		1	
8	Velocidad del aire	1		1	
9	Calidad del aire	1		1	
10	Dirección del viento	1		1	

Fuente: CELEC EP – Hidroagoyán - Trabajo de campo

4.3.4 Conclusiones del análisis

- ✓ Los embalses son considerados como unos de los componentes más importantes de las Centrales de Generación Eléctrica razón por lo cual un adecuado monitoreo y control de las condiciones ambiente existente en las represas son de suma importancia para la toma de decisiones ante eventos que se presenten en la naturaleza.

- ✓ La Unidad de Negocio Hidroagoyán de CELEC EP requiere la implementación urgente de una solución tecnológica para gestionar los embalses que permita monitorear, controlar y contar con datos históricos al momento de tomar decisiones y así evitar paralizaciones imprevistas de las Centrales Hidroeléctricas por problemas ocasionados en los entornos del embalse incurriendo en grandes pérdidas para el estado Ecuatoriano.

- ✓ De acuerdo a la información obtenida en el análisis de requerimientos para el monitoreo y control de los embalses se ha identificado que existe la factibilidad técnica para la implementación de una solución de acuerdo a la magnitud y requerimientos presentados, siendo este un escenario idóneo para aprovechar las bondades y beneficios de la tecnología de redes de sensores inalámbricos, razón por la cual se propone desarrollar una propuesta de diseño de la red de sensores inalámbricos que permita monitorear los embalses de Agoyán y Pisayambo.

4.4 SELECCIÓN DE LA PLATAFORMA DE RSI

Una vez definidos los requerimientos para la implementación de la RSI y de acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación de las plataformas Arduino y Waspote se procede a realizar el análisis que nos permita seleccionar la plataforma que mejor se adapte para diseñar la RSI aprovechando al máximo los recursos tecnológicos y financieros de Hidroagoyán, por lo que la selección de la plataforma se realizará basado en los criterios recomendados en el capítulo III, ítem 3.6.

A continuación se describen los aspectos considerados para la selección de la plataforma:

- ✓ **Rendimiento:** Hidroagoyán requiere una solución de alto nivel de rendimiento para el monitoreo y control de los embalses.
- ✓ **Presupuesto:** El presupuesto debe estar acorde a los requerimientos técnicos y de rendimiento solicitados.
- ✓ **Aplicación:** La RSI será instalada en un escenario real con requerimientos de monitoreo avanzado, tales como nivel, caudal, etc., que trabajarán bajo condiciones extremas, se requiere que la solución ofrezca el equipamiento que cumpla con dichas características.
- ✓ **Soporte técnico:** Al ser una aplicación a desarrollarse e implementarse en la Unidad de Negocio Hidroagoyán se requiere contar un alto nivel de soporte técnico e

información avanzada disponible para la solución de inconvenientes que se presenten durante la implementación.

- ✓ **Canales de distribución:** De preferencia canales de distribución a nivel Nacional.

Definidos los requerimientos para la evaluación, se define la escala a utilizar para la selección de la plataforma:

- ✓ 0 No cumple
- ✓ 1 Cumple en parte
- ✓ 2 Cumple

La Tabla IV.LVIII. presenta la evaluación de la selección de la plataforma para la implementación de la RSI

TABLA IV.LVIII. Selección de la plataforma de la RSI

REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN	NIVEL	EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN
			ARDUINO	WASPMOTE	
Rendimiento	Hardware, procesamiento y disponibilidad	Alto	1	2	Wasmote ofrece un mayor rendimiento que Arduino de acuerdo a la evaluación de desempeño.
Presupuesto	Presupuesto aceptable	Normal	2	1	Wasmote es un 10 % más caro que Arduino. De acuerdo a la evaluación de precios. Capítulo III, ítem 3.3.6.
Aplicación	RSI	Alto	2	2	Arduino y waspmote son plataformas para RSI. Capítulo II.
	Componentes y accesorios de monitoreo básicos	Alto	2	2	Existen componentes y accesorios para las plataforma Arduino y Wasmote para el monitoreo de variables básicas (Temperatura, humedad, etc.). Capítulo II.
	Componentes y accesorios de monitoreo avanzados	Alto	0	2	No existen componentes y accesorios para la plataforma Arduino para monitoreo avanzado (Nivel, caudal, etc). Wasmote si ofrece equipamiento para monitoreo avanzado pero solo compatible con la plataforma. Capítulo II, ítem 2.4.7.
Soporte técnico	En varias formas	Alto	1	2	Wasmote ofrece un mayor nivel de soporte técnico e información avanzada que Arduino de acuerdo al análisis y evaluación realizada en el capítulo III.
Canal de distribución	Nacionales / Internacional	Normal	2	1	Arduino ofrece canales de distribución Nacional e Internacional, mientras que Wasmote solo Internacional de acuerdo al análisis y evaluación realizada en el capítulo III.
TOTAL:			10	12	

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

De acuerdo al análisis comparativo se tiene que la plataforma Wasmote obtuvo un puntaje de 12 mientras que la plataforma Arduino obtuvo un puntaje de 10.

El monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo requieren el monitoreo de variables avanzadas tales como nivel, caudal, entre otras, con requerimientos de equipamiento apto para trabajar en un ambiente real bajo condiciones críticas, por lo que de acuerdo al análisis realizado en la Tabla IV.LVIII, Arduino no cuenta con el equipamiento RSI para mediciones avanzadas apropiadas para el monitoreo de los embalses lo cual es el principal limitante para la implementación de dicha solución. Por otro lado Wasmote cumple con los requerimientos de rendimiento, aplicación, precios, soporte técnico e información para el monitoreo y control de los embalses presentando limitación en la adquisición de los equipos ya que al contar con un solo canal de distribución ubicado en España, la adquisición de equipos se deberá realizar directamente con la empresa Libelium.

Por lo que, de acuerdo al análisis y criterios expuestos, la plataforma Wasmote es la idónea para elaborar la propuesta de diseño de la RSI para el monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo.

CAPÍTULO V.

PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS BAJO EL PROTOCOLO DE COMUNICACIONES ZIGBEE.

5.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de redes de sensores inalámbricos para solucionar problemas de la vida real conlleva un sinnúmero de pasos desde la realización de un exhaustivo estudio inicial de las condiciones del lugar donde se va a implementar la RSI hasta el desarrollo de la propuesta que permita implementar la mejor solución para el escenario que se presenta, por lo que, el presente capítulo exterioriza una propuesta de diseño de la red de sensores inalámbricos bajo del protocolo de comunicaciones Zigbee para el monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante la aplicación de los resultados obtenidos durante el desarrollo de la tesis seleccionando la mejor plataforma que se adapte al escenario y que permita obtener los mejores resultados técnicos y económicos para la unidad de negocio Hidroagoyán.

5.2 REQUERIMIENTOS

La propuesta de diseño de la RSI se realizará basado en la información obtenida del análisis del capítulo anterior, bajo los siguientes requerimientos:

- ✓ El diseño contempla la propuesta de una solución óptima que permita monitorear los embalses de Agoyán y Pisayambo optimizando los recursos económicos y tecnológicos de la empresa.
- ✓ Para el diseño de la red de sensores inalámbricos de los embalses de Agoyán y Pisayambo por encontrarse en lugares distantes, para su interconexión se utilizará la red de comunicaciones de Hydroagoyán.
- ✓ El monitoreo y control de los embalses se realizará en tiempo real y en forma continua, las 24 horas del día desde las salas de control de las Centrales Hidroeléctricas Pucará y Agoyán. Adicionalmente desde cualquier sitio de la red se podrá acceder a la información del monitoreo del control de los embalses.
- ✓ El monitoreo y control se realizará a través de una aplicación Web desarrollada en plataforma libre. Además el diseño contemplará la implementación de una aplicación de mantenimiento para la administración de la RSI.
- ✓ El sistema permitirá presentar información individual de las variables medidas, presentar información por embalses, generar alarmas en el caso de que ciertos valores

sobrepasen el rango permitido y generar reportes filtrados los mismos que podrán ser generados de acuerdo al nivel de usuario.

- ✓ El almacenamiento de la información se realizará en una Base de Datos almacenado en el Datacenter ubicado en las oficinas administrativas de Agoyán. Además para preveer la perdida de información en el caso de fallas del sistema de comunicaciones de Hidroagoyán, el diseño deberá contemplar el almacenamiento de la información en un sitio local con capacidad mínima de almacenaje de 48 horas.
- ✓ La propuesta deberá incluir todo el equipamiento e infraestructura necesaria para la puesta en marcha del sistema.
- ✓ El diseño de la RSI se desarrollará considerando la zona geográfica donde se implementará, distribuyendo el equipamiento de acuerdo a las mediciones a realizar, accesos al equipamiento y sitios estratégicos donde se implementaran.
- ✓ Los requerimientos de medición de los embalses se presenta en la Tabla V.LIX.

TABLA V.LIX. Requerimientos de medición

No.	RECURSO	MEDICIÓN	PERIODICIDAD (min)
PISAYAMBO			
1	Río Quillopacha – Agualongopungo	Caudal	60
2	Río Roncador	Caudal	60
3	Río Milin	Caudal	60
4	Río Tambo	Caudal	60
5	Río Talatag	Caudal	60
6	Laguna Pisayambo	Nivel embalse	60
		Humedad	30
		Temperatura del agua	30

		Temperatura del ambiente	30
		Nivel de lluvia	30
		Nivel de luminosidad	30
		Velocidad y dirección del viento	30
		Calidad del aire	30
AGOYAN			
7	Represa de Agoyán	Humedad	30
		Temperatura del agua	30
		Temperatura del ambiente	30
		Nivel de lluvia	30
		Nivel de luminosidad	30
		Velocidad y dirección del viento	30
		Calidad del aire	30

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

5.3 DISEÑO DE LA RED

5.3.1 Descripción

La propuesta de diseño para el monitoreo y control de los embalses se divide en dos secciones:

- ✓ **Red de transporte.-** Corresponde a la actual red de comunicaciones de CELEC Hidroagoyán y cuyo análisis se realizó en el capítulo IV, la misma que será utilizada como infraestructura de transporte para el envío de la información de la RSI.
- ✓ **Red de sensores inalámbricos.-** Corresponde a las redes a implementar en los embalses de Agoyán y Pisayambo para el monitoreo y control de los mismos.

5.3.2 Red de transporte

5.3.2.1 Tecnología utilizada

La red de transporte utiliza varias tecnologías para la conectividad de sus sistemas de comunicaciones, es así que para la integración de la red de transporte con la RSI se utilizará la tecnología Fast Ethernet y se aprovechará la tecnología de networking existente para el envío de la información hacia el Datacenter.

5.3.2.2 Diagrama de interconexión

La Figura V.61 presenta el diagrama de interconexión general de la red de transporte y la RSI.

ESQUEMA GENERAL DE COMUNICACIONES

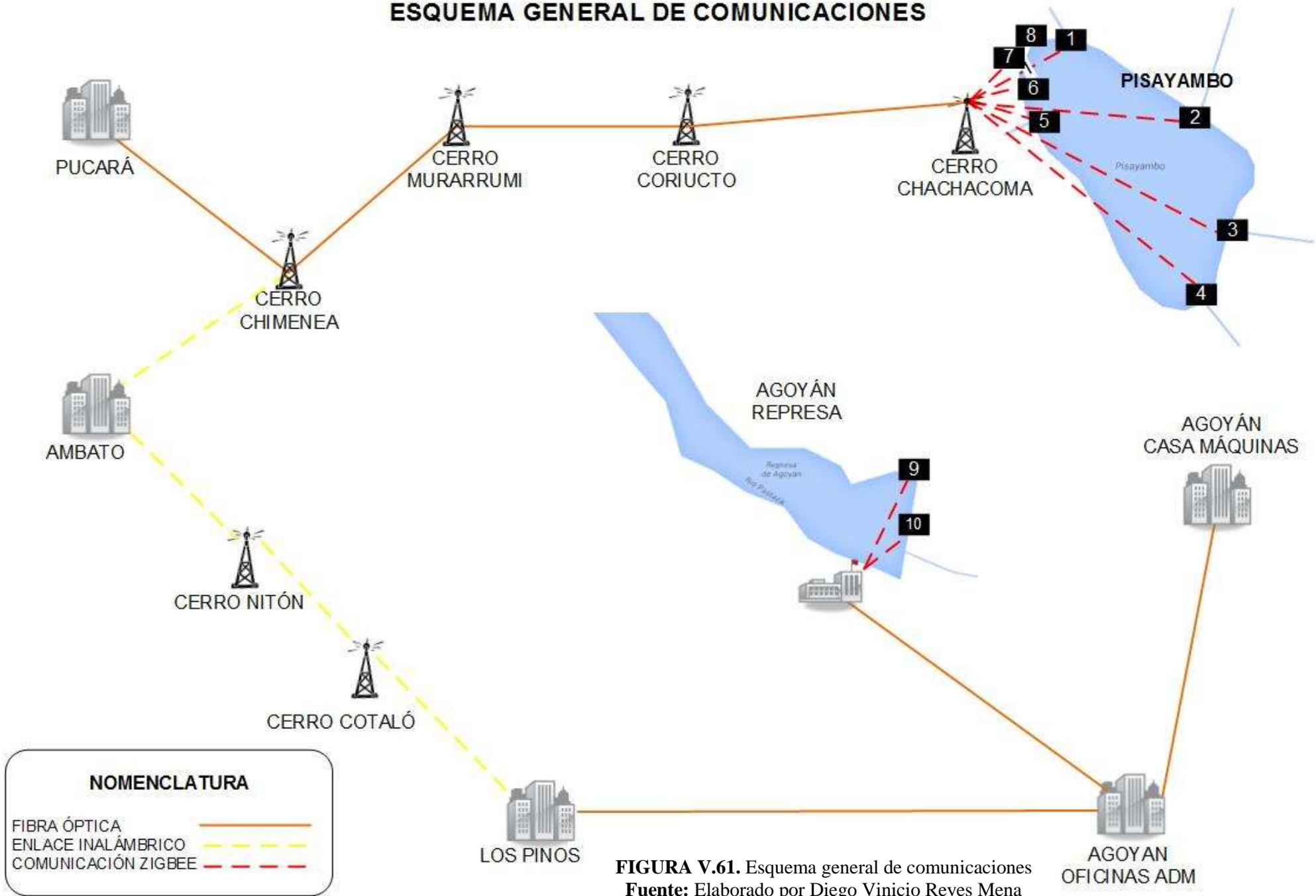


FIGURA V.61. Esquema general de comunicaciones
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

5.3.3 Red de sensores inalámbricos

5.3.3.1 Selección de Plataforma

De acuerdo al análisis de selección de la plataforma de RSI presentada en el capítulo IV, sección 4.4, la presente propuesta de diseño se realizará mediante el uso de la plataforma Wasmote.

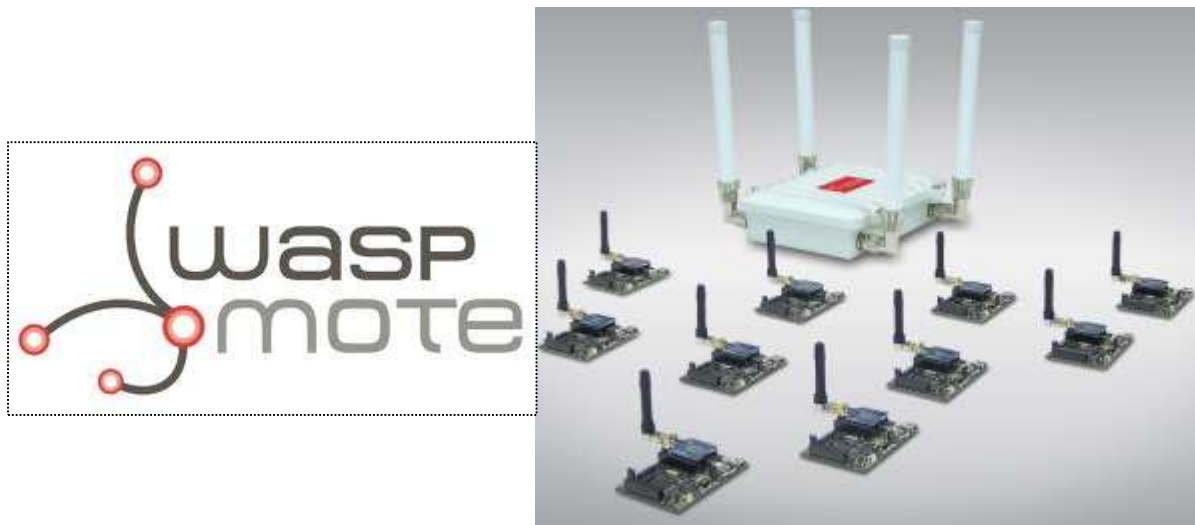


FIGURA V.62. Plataforma Wasmote
Fuente: www.libelium.com

5.3.3.2 Topología

De acuerdo a la ubicación geográfica y distribución de los puntos de medición de los embalses y con la finalidad de aprovechar al máximo los beneficios y optimización de recursos de las RSI, se propone realizar el diseño de la RSI mediante el uso de la topología estrella.

5.3.3.3 Puntos de medición

La Tabla V.LX. presenta la ubicación donde se instalarán los Gateways.

TABLA V.LX. Ubicación de gateways

No.	UBICACIÓN	UBICACIÓN	COORDENADAS	ELEVACIÓN
1	Cerro Chachacoma	Pisayambo	01°4'37.6" S 78°23'59.6"O	3595
2	Cuarto de control	Represa Agoyán	1°23'55.81"S 78°22'59.21"O	1664

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

La Tabla V.LXI. presenta la ubicación donde se instalarán los puntos de medición.

TABLA V.LXI. Ubicación de puntos de medición

No.	UBICACIÓN	MEDICIÓN	COORDENADAS	ELEVACIÓN	DISTANCIA GW
PISAYAMBO					
1	Río Quillopacha – Agualongopungo	Caudal	1°4'21.15"S 78°23'39.25"O	3569	803.46
2	Río Roncador	Caudal	1°4'36.98"S 78°23'15.02"O	3572	1378.72
3	Río Milin	Caudal	1°5'25.02"S 78°22'30.99"O	3565	3109.34
4	Río Tambo	Caudal	1°5'58.51"S 78°22'41.48"O	3580	3468.79
5	Río Talatag	Caudal	1°4'43.57"S 78°23'53.97"O	3568	255.82
6	Presa Pisayambo	Nivel embalse	1°4'32.30"S 78°23'50.79"O	3564	317.06
7	Presa Pisayambo	Humedad	1°4'25.40"S 78°23'48.46"O	3560	506.82
		Temperatura del agua			
		Temperatura del ambiente			
8	Presa Pisayambo	Nivel de lluvia	1°4'20.84"S 78°23'42.89"O	3563	728.34
		Nivel de luminosidad			
		Velocidad del aire			
		Calidad del aire			
AGOYAN					
9	Represa Agoyán	Humedad	1°23'48.15"S 78°22'55.99"O	1665	259.79
		Temperatura del agua			
		Temperatura del ambiente			
10	Represa Agoyán	Nivel de lluvia	1°23'50.28"S 78°22'55.64"O	1658	201.49
		Nivel de luminosidad			
		Velocidad del aire			
		Calidad del aire			

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

5.3.3.4 Esquemas de conectividad

ESQUEMA GENERAL DE COMUNICACIONES DE LA RED DE SENSORES INALÁMBBRICOS

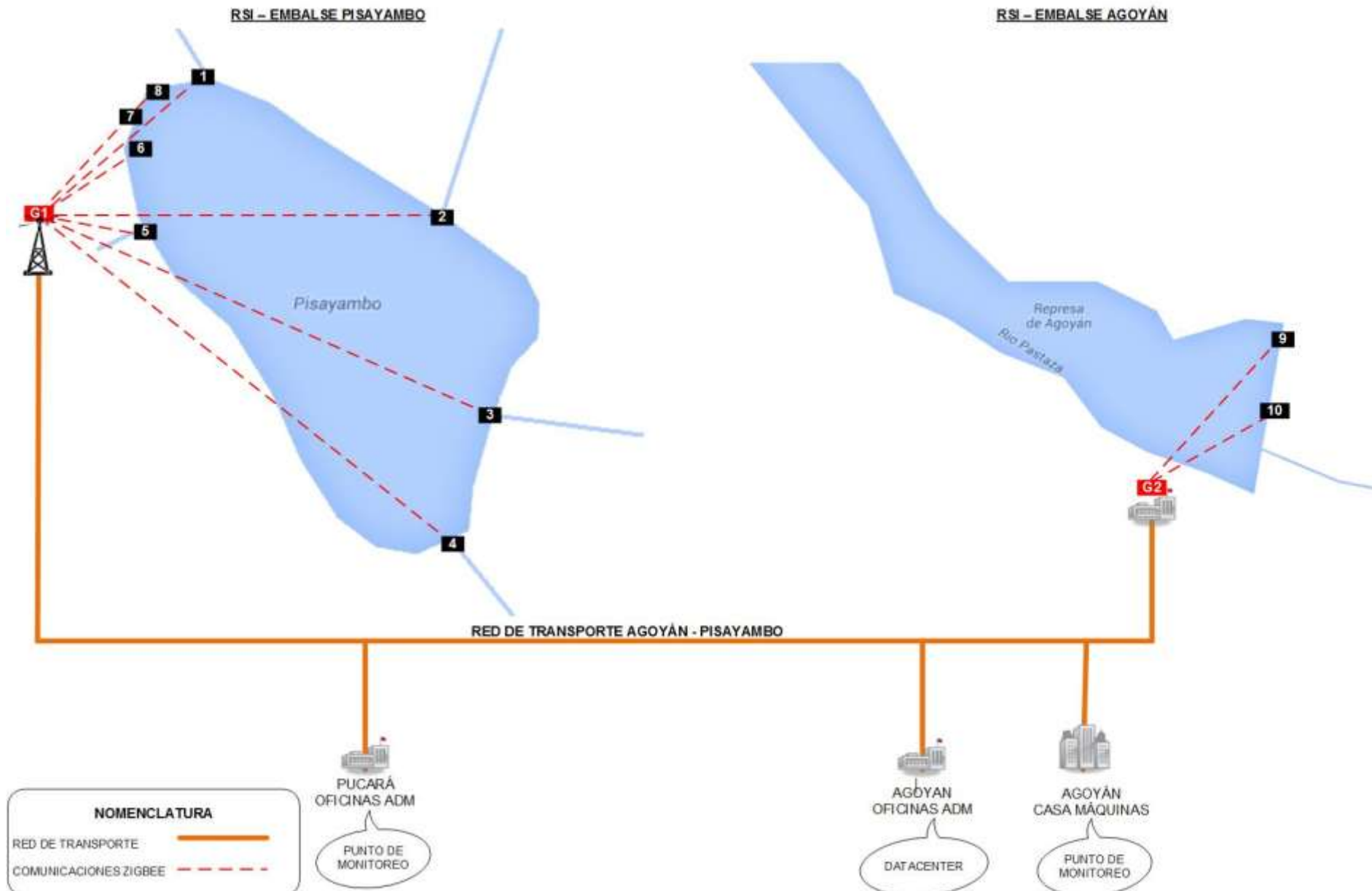


FIGURA V.63. Esquema general de comunicaciones de la RSI
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

ESQUEMA GENERAL DE CONECTIVIDAD DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

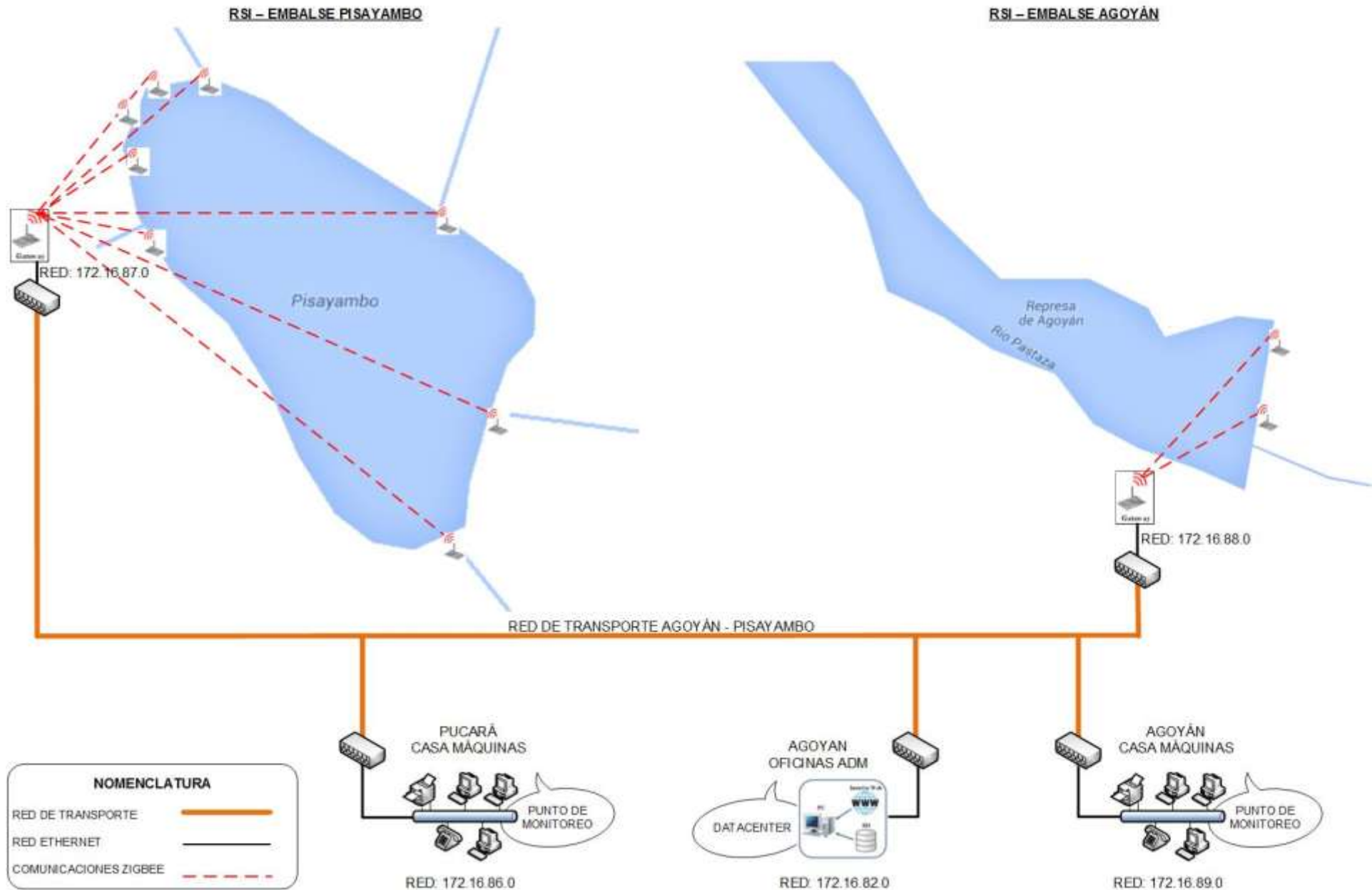


FIGURA V.64. Esquema general de conectividad de comunicaciones de la RSI

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

5.3.3.5 Diseño de nodos

5.3.3.5.1 Gateway

De acuerdo al diseño general de comunicaciones de la RSI presentado en la Figura V.63, se propone instalar dos gateways según el detalle presentado en la Tabla V.LXII.

TABLA V.LXII. Gateways

No.	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	LUGAR
1	G1	Gateway 1	Cerro Chachacoma	Caseta
2	G2	Gateway 2	Represa de Agoyán	Cuarto de control

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

Los equipos serán instalados en las torre del cerro Chachacoma y en un mástil a instalar en el cuarto de control de la represa de Agoyán.

Los Gateways, se integrarán a la red de transporte a través de una interface Ethernet, así como dispondrá de una memoria interna que permita almacenar la información de las mediciones por un período mínimo de 8 días.

Debido a que los gateways recibirán la información de los nodos, se considera que los mismos se conectarán directamente a la energía eléctrica.

5.3.3.5.2 Nodos

De acuerdo al diseño general de comunicaciones de la RSI presentado en la Figura V.63. y de acuerdo a la Tabla V.LXI se propone instalar diez nodos, cuya ubicación física se presenta en el **ANEXO G**.

Los nodos finales se instalarán sobre un mástil de 3 metros de alto en cada uno de los puntos de medición.

Los nodos de la RSI, trabajarán con equipos de medición propios de la plataforma y está conformado por un sistema de alimentación eléctrico por medio de un panel solar, los mismos que alimentarán directamente a la batería a través de un regulador de voltaje. La placa de la RSI se alimenta de la batería y esta se encargará de la alimentación y funcionamiento de los equipos de medición.

La Figura V.65. presenta el diseño general de los nodos a implementar.

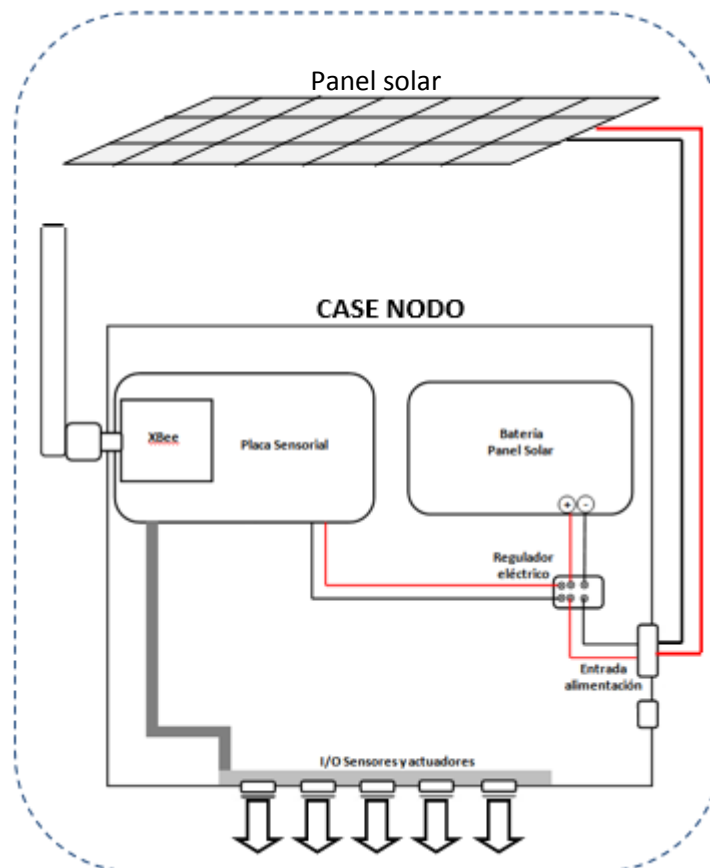


FIGURA V.65. Diseño general del nodo
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

La Figura V.66. presenta el diseño del case de los nodos.

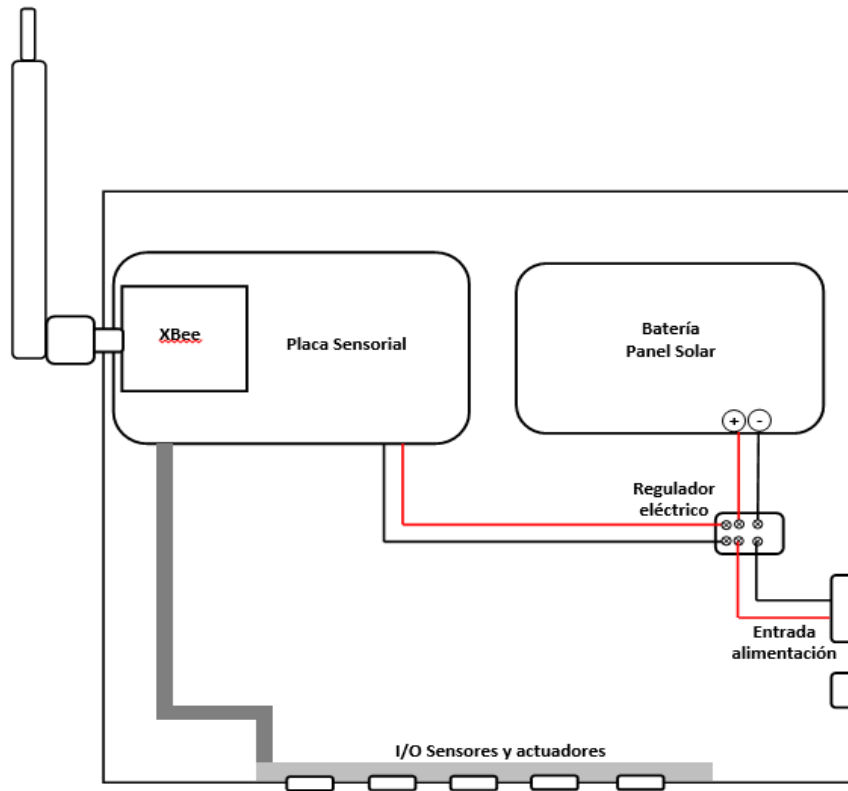


FIGURA V.66. Diseño del case de los nodos
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

La Figura V.67. presenta el diseño físico de los nodos a implementar.

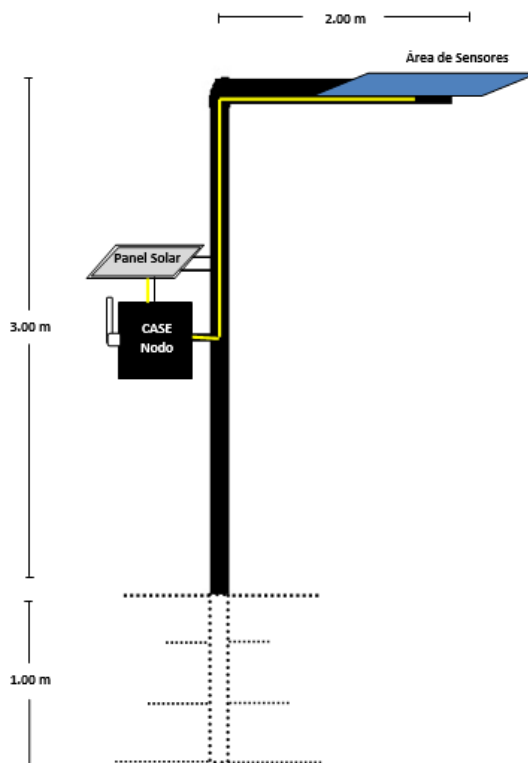


FIGURA V.67. Diseño físico de los nodos a implementar
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

5.3.3.6 Direccionamiento IP

El direccionamiento IP propuesto para la implementación de la RSI se presenta en la Tabla V.LXIII.

TABLA V.LXIII. Direccionamiento IP de la RSI



No.	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	IP	MÁSCARA	GATEWAY
1	G1	Gateway 1	172.16.86.250	255.255.255.192	172.16.86.193
2	G2	Gateway 2	172.16.88.60	255.255.255.192	172.16.88.1
3	BD	Servidor de BD y aplicaciones	172.16.82.60	255.255.255.192	172.16.82.1






Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

5.3.3.7 Medición sensorial

La Tabla V.LXIV presenta el listado de los equipos de medición sensorial propuestos para el diseño de la RSI.

TABLA V.LXIV. Equipos de medición sensorial

N°	SENSOR	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
1	Nivel y caudal	<ul style="list-style-type: none"> • Ultra resistente • Uso industrial, para exteriores • Ultrasonido • IP67 • Alta precisión 	
2	Luminosidad	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente • Uso industrial, para exteriores • Alta sensibilidad 	

3	Temperatura de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura: -50°C – 150°C • Cobertura PVC ultra resistente • Uso industrial, para exteriores • Alto grado de precisión 	
4	Temperatura de ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura: -40°C – 80°C • Sensor para exteriores • Alta calidad • Uso industrial 	
5	Humedad de ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de humedad para ambientes exigentes • Alto grado de sensibilidad 	
6	Estación meteorológica	<ul style="list-style-type: none"> • Conjunto de sensores de alta disponibilidad • Para ambientes meteorológicos exigentes • Sensores: velocidad y dirección del viento, nivel de lluvia. 	
7	Calidad de aire	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor ultrasensible • Medición de partículas de contaminación y gases nocivos • Uso industrial, exteriores 	





Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena [47]

5.3.3.8 Equipos y accesorios

La Tabla V.LXV presenta el listado de equipos y accesorios necesarios para la implementación de la red de sensores inalámbricos.

TABLA V.LXV. Equipos y accesorios de la RSI

N°	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
SISTEMA DE COMUNICACIONES			
1	Módulo Xbee	Módulo XBee ZB Pro Serie 2	
2	Antena	Antena de comunicación de 5dbi	
3	Router/Gateway	Router/Gateway Meshlium Pro de comunicación Zigbee, Memoria de 8 Gb, Interface Fast Ethernet	
SISTEMA DE ENERGÍA			
4	Panel Solar para placa RSI	Dimensiones: 14.125 x 11.5 x 1" Peso: 1.425kg (3.141lbs)	
5	Batería para placa RSI	Batería de litio recargable de 5V, 6600 mAh	
6	Placa Reguladora		
VARIOS			
7	Case Nodo	Caja acondicionada para nodo sensorial, ultrarresistente para uso exterior. IP 67	
8	Platina portadora de sensores	Platina de apoyo para sensores 20x90 cm con soportes	
9	Malla	Malla para control anti oleaje 3 x 8 m con soportes	
10	Mástil	Soportes de tubo anticorrosivo 3 x 2 m Con base para anclaje de 1 metro	

11	Varios	Tornillos, cables, conectores, soportes	
WASPMOTE			
12	Placa Waspnote	Waspnote Pro V 1.2	
13	Placa Base	Placa Base para sensores AG Pro	
14	Placa Base	Placa Base para sensores SM Pro	

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena [47]

5.3.4. DISEÑO DE APLICACIONES

5.3.4.1 Aplicaciones

Para el monitoreo y control de los embalses se propone el desarrollo de dos aplicaciones basadas en tecnología web, una aplicación permitirá llevar el monitoreo y control de los embalses y la otra será una aplicación para la administración y mantenimiento, dichas aplicaciones serán implementadas bajo software libre según el detalle presentado en la Tabla V.LXVI.

TABLA V.LXVI. Tecnologías para el desarrollo de las aplicaciones de la RSI

N°	APLICACIÓN	DETALLE
1	Sistema Operativo	Linux Centos 6.5
2	Servidor Web	Apache
3	Lenguajes de programación	HTML, PHP
4	Entorno de desarrollo	JAVA NETBEANS IDE 7.2.1.

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

La tabla V.LXVII presenta el detalle de las aplicaciones propuestas a implementar.

TABLA V.LXVII. Detalle de las aplicaciones propuestas

N°	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	PÁGINAS	FORMATO
1	Monitoreo y Control	Aplicación web que permitirá el monitoreo y control en tiempo real de las mediciones realizadas por la RSI y de generar reportes de los datos censados.	Inicio	HTML
			Datos para reportes	HTML
			Inicio de sesión	HTML
			Censado individual	PHP
			Censado general	PHP
			Reportes	PHP
			Hojas de estilo y otras	CSS
2	Administración y mantenimiento	Aplicación web que permitirá administrar la RSI como: creación, modificación, eliminación, actualización de los nodos, sensores y parámetros de medición.	Inicio	HTML
			Inicio de sesión	HTML
			Mantenimiento	HTML
			Creación	PHP
			Modificación	PHP
			Eliminación	PHP
			Actualización	PHP
			Mantenimiento y control	PHP
			Reportes	PHP
			Hojas de estilo y otras	CSS
			Clases java	JAVA

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

El cálculo del costo del desarrollo de las aplicaciones se puede visualizar en el **ANEXO H**, el mismo que tiene un costo de USD. 5612 (Cinco mil seis cientos doce dólares)

5.3.4.2 Bases de datos

Se propone implementar la Base de Datos en el motor de base de datos PostgreSQL 9.2.

La Figura V.68. presenta el diseño lógico de la base de datos a implementar.

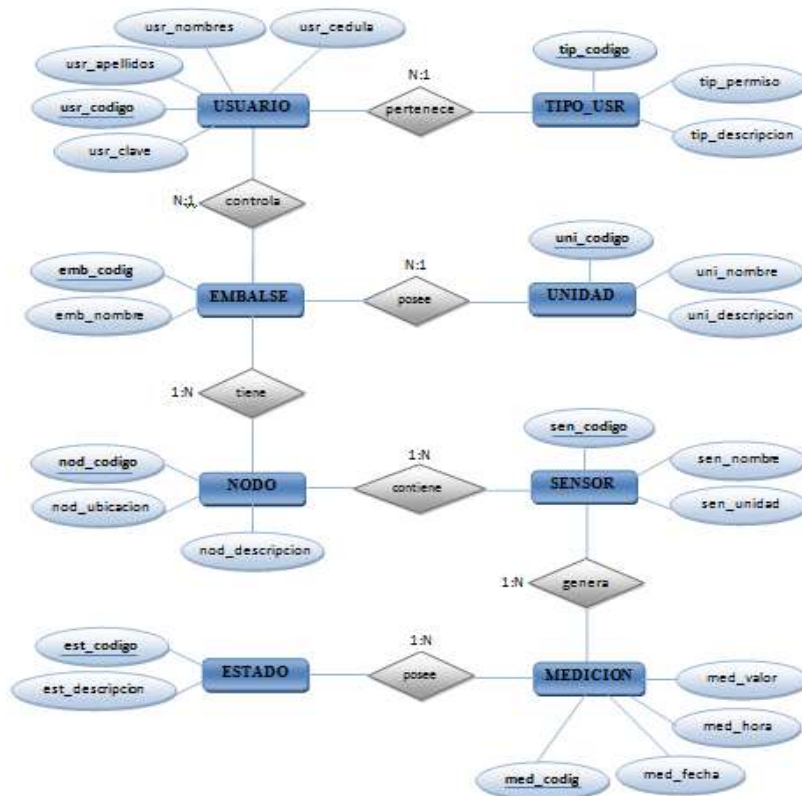


FIGURA V.68. Diseño lógico de la BD propuesta
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

La descripción de las tablas y campos a implementar se describen en la Tabla V.LXVIII.

TABLA V.LXVIII. Descripción de tablas y campos de la BD propuesta.

No.	CAMPO	TIPO DATO	TAMAÑO	CLAVE
TIPO_USR				
1	tip_codigo	Integer	--	Primaria
2	tip_descripcion	character varying	100	
3	tip_permiso	character varying	20	
USUARIO				
1	usr_codigo	Integer	--	Primaria
2	usr_nombres	character varying	100	
3	usr_apellidos	character varying	100	
4	usr_cedula	character varying	10	
5	usr_clave	character varying	50	
6	tip_codigo	Integer	--	Foránea
7	emb_codigo	Integer	--	Foránea
UNIDAD				
1	uni_codigo	Integer	--	Primaria

2	uni_nombre	character varying	50	--
3	uni_descripcion	character varying	100	--
EMBALSE				
1	emb_codigo	Integer	--	Primaria
2	emb_nombre	character varying	50	--
3	uni_codigo	Integer	--	Foránea
NODO				
1	nod_codigo	Integer	--	Primaria
2	nod_descripcion	character varying	100	--
3	nod_ubicacion	character varying	100	--
4	emb_codigo	Integer	--	Foránea
SENSOR				
1	sen_codigo	Integer	--	Primaria
2	sen_nombre	character varying	100	--
3	sen_unidad	character varying	50	--
4	nod_codigo	Integer	--	Foránea
MEDICION				
1	med_codigo	Integer	--	Primaria
2	med_fecha	Date	--	--
3	med_hora	time with time zone	--	--
4	med_valor	character varying	20	--
5	est_codigo	Integer	--	Foránea
6	sen_codigo	Integer	--	Foránea
ESTADO				
1	est_codigo	Integer	--	Primaria
2	est_descripcion	character varying	100	--

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

El diseño físico de la base de datos a implementar se presenta en la Figura V.69.

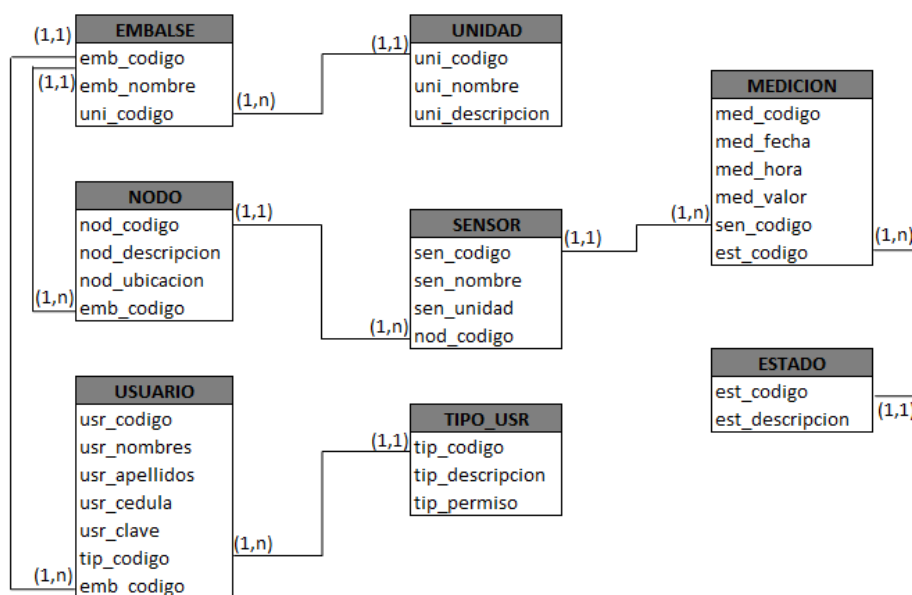


FIGURA V.69. Diseño físico de la BD

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

De acuerdo a los requerimientos establecidos, se estima que la base de datos tendrá un crecimiento anual de 12,5067 MB, por lo que estimando para un período de cinco años se requerirá una capacidad de almacenamiento de 62,5368 MB. El cálculo del crecimiento de la Base de Datos se puede visualizar en el **ANEXO I**.

El costo de la implementación de la Base de Datos es de USD. 200 (Dos cientos dólares).

5.3.4.3 Interfaces

La Tabla V.LXIX. presenta el detalle de las interfaces principales a implementar.

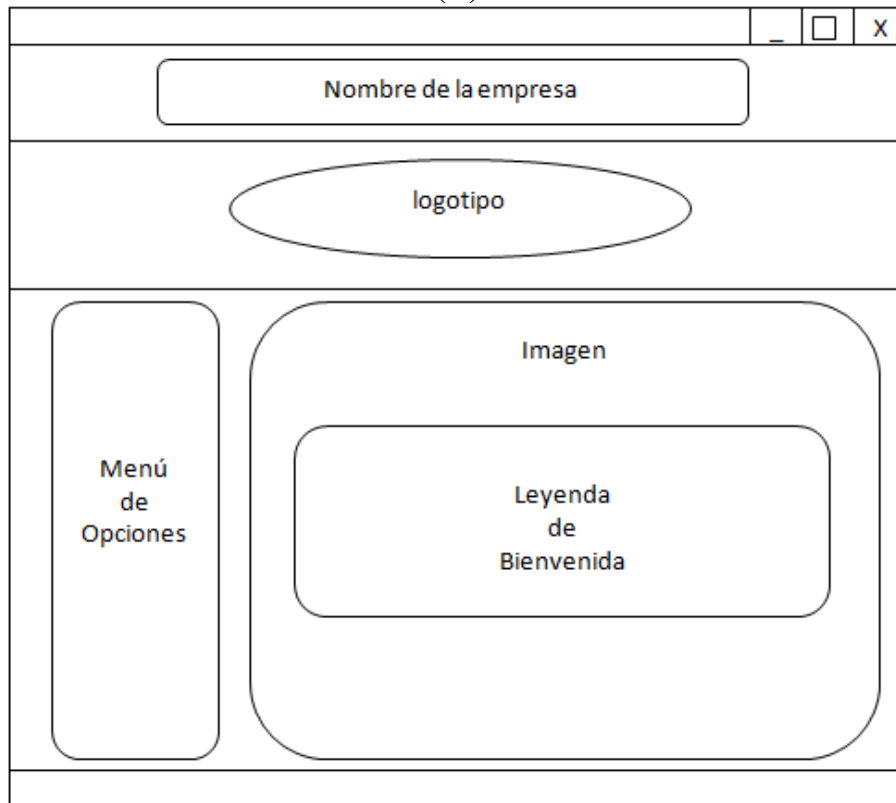
TABLA V.LXIX. Detalle de interfaces propuestas

N°	ID	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	A	Pantalla principal	Interfaz que contendrá un saludo de bienvenida, así como también el menú de opciones que prestará la aplicación
2	B	Censado individual	Interfaz que permitirá presentar los datos censados en tiempo real de cada uno de los sensores contenidos en la RSI.
3	C	Sensado General	Interfaz que permitirá presentar los datos sensados de todos los sensores de la RSI, permitiendo el monitoreo y control general del embalse en tiempo real
4	D	Reporte	Interfaces que permitirán presentar la información sensada de acuerdo a parámetros establecidos.

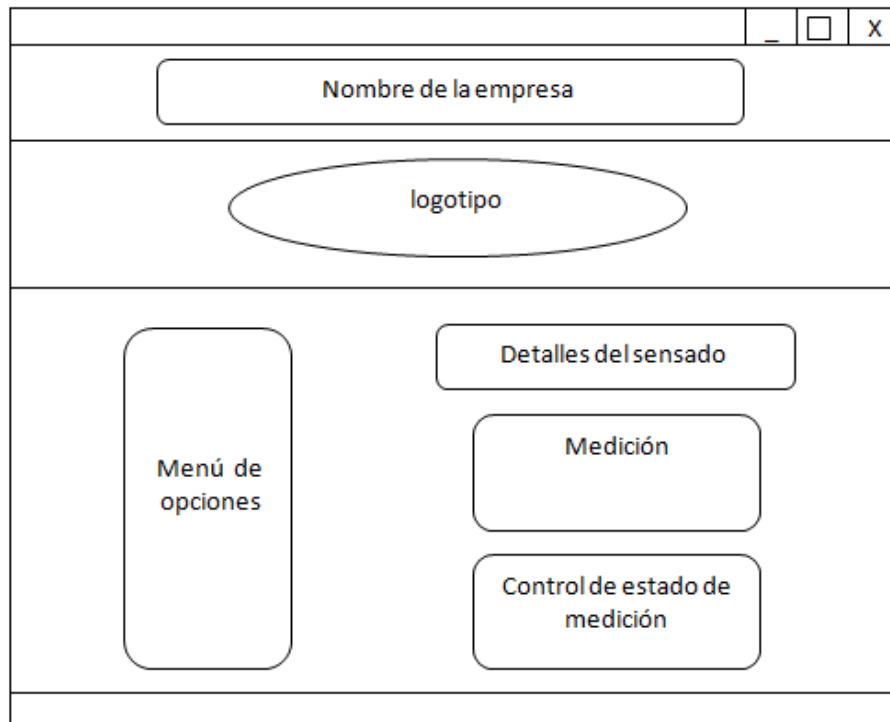
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

El diseño de las interfaces principales propuestas se presentan en la Figura V.70.

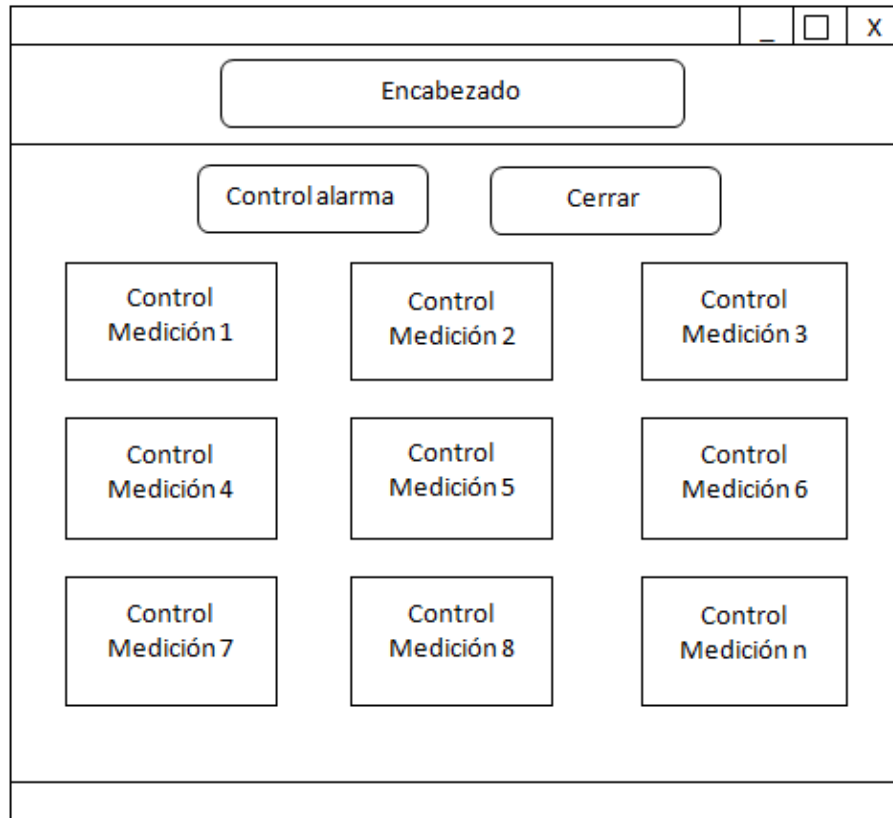
(A)



(B)



(C)



(D)

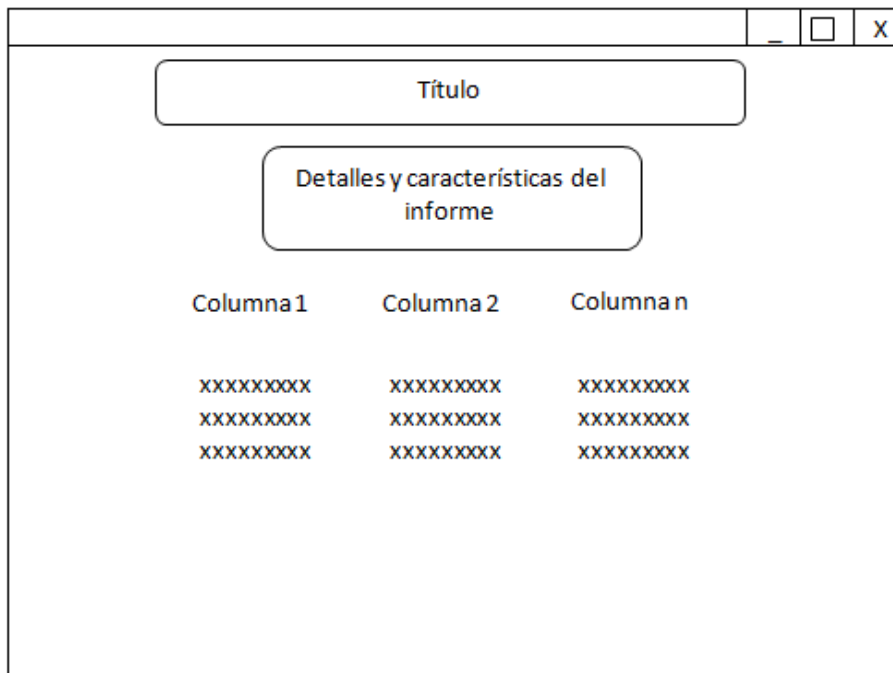


FIGURA V.70. Diseño de las interfaces principales propuestas
Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

El modelo de las interfaces propuestas a implementarse se puede visualizar en el **ANEXO J.**

5.3.5. SERVIDOR

Para el almacenamiento de las aplicaciones y de base de datos de la RSI se propone utilizar la infraestructura virtual de servidores de Hidroagoyán, el mismo que se encontrará en el Datacenter ubicado en las oficinas administrativas de Agoyán. El servidor de acuerdo a los cálculos de almacenamiento deberá cumplir con las características mínimas presentadas en la Tabla V.LXX.

TABLA V.LXX. Características del servidor

N°	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA	OBSERVACIÓN
1	Cantidad	1	
2	Procesador	Core duo 2 Ghz	
3	Memoria	2 GB	Capacidad de crecimiento
4	Disco duro	10 GB	Capacidad de crecimiento
5	Red	10 / 100 Mbps	

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

5.4 PROPUESTA ECONÓMICA

Definidos los aspectos técnicos para la implementación de la RSI, se presenta la propuesta económica para la implementación del proyecto.

TABLA V.LXXI. Propuesta económica

N°	NOMBRE	CANTIDAD	VALOR U	TOTAL
RSI				
1	Placa Waspnote	10	120	1200
2	Placa base sensores AG	4	300	1200
3	Placa base sensores SC	6	180	1080

SISTEMA DE COMUNICACIONES				
4	Módulo Xbee Pro	10	90	900
5	Antena	10	15	150
6	Router/Gateway	2	1100	2200
EQUIPOS DE MEDICIÓN				
7	Nivel y caudal	6	200	1200
8	Temperatura de agua	2	40	80
9	Temperatura de ambiente	2	60	120
10	Humedad de ambiente	2	65	130
11	Estación meteorológica	2	250	500
12	Calidad de aire	2	40	80
13	Luminosidad	2	30	60
SISTEMA DE ENERGÍA				
14	Panel Solar	10	40	400
15	Batería	10	40	400
16	Placa Reguladora	10	30	300
APLICACIONES Y BASE DE DATOS				
17	Instalación y configuración del servidor	1	200	200
18	Base de datos	1	200	200
19	Aplicaciones	1	5612	5612
CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE MÓDULOS				
20	Nodos	10	180	1800
21	Gateway	2	150	300
22	Instalación equipos	12	100	1200
VARIOS				
23	Case Nodo	10	80	800
24	Platina portadora de sensores	10	15	150
25	Malla - Incluye instalación	1	500	500
26	Mástil	10	250	2500
27	Cables y accesorios adicionales	1	1000	1000
28	Instalación de mástil	10	300	3000
29	Cálculos de áreas y topografía de los ríos	6	300	1800
30	Gastos varios y movilización	1	1500	1500
			TOTAL:	30562

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena [47][13]

El costo total para la implementación del proyecto es de USD 30562 (Treinta mil quinientos sesenta y dos dólares con 00/100).

5.5 ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO

Se ha considerado los siguientes aspectos:

- ✓ El tiempo de vida para la implementación del proyecto es de 5 años
- ✓ La inversión inicial para la implementación del proyecto es de USD. 30562

5.5.1 Beneficios y costos de la implementación

La Tabla V.LXXII. presenta los beneficios que Hidroagoyán obtendrá al implementar el monitoreo y control de los embalses a través de la RSI, para lo cual se describen los criterios utilizados para calcular los valores que representan:

- ✓ **Tiempo del Personal**, se ha considerado en ahorro del tiempo necesario que el personal necesita para ver las mediciones manuales.
- ✓ **Aumento de la productividad del personal**, en atención al ahorro de tiempo por la utilización del sistema de monitoreo y control de la red RSI, en el que tiene información en línea y generación de reportes permitiendo aumentar la productividad mediante el ahorro en el registro, procesamiento y preparación de informes.
- ✓ **Atención y coordinación de actividades especiales**, tales como las actividades ejecutadas por los supervisores y jefes de operación para atender nuevos proyectos, compromisos en y fuera de la empresa, disponibilidad de la información entre otras.

TABLA V.LXXII. Beneficios

DESCRIPCIÓN	CARGO	UBICACIÓN	PERSO NAS	TIEMPO (Horas)	VALOR (USD)	ANUAL (Horas)	TOTAL (USD)
Tiempo del personal	Guardia	Pisayambo	1	4	2.5	1440	3600
Aumento de la productividad	Supervisores	Pisayambo	1	0.5	9	180	1620
		Agoyán	2	0.75	9	270	4860
Atención y coordinación de actividades	Jefes	Agoyán – Pucará	2	4 mensual	14	48	1344
TOTAL:							11424

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

NOTA: Cabe indicar que para la estimación de los beneficios que obtendrá Hidroagoyán no se han considerados las pérdidas económicas generadas por las paralizaciones de las Centrales Hidroeléctricas por problemas en los embalses.

Adicionalmente se considera realizar el mantenimiento anual del sistema por un valor de USD. 500.

5.5.2 Flujo de caja

TABLA V.LXXIII. Flujo de caja

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	TOTAL
Egresos (Gastos)	30562.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	33062.00
Ingresos (Beneficios)		11424.00	11424.00	11424.00	11424.00	11424.00	57120.00
FLUJO NETO		10924.00	10924.00	10924.00	10924.00	10924.00	

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

5.5.3 Índices financieros

5.5.3.1 Valor actual neto (VAN)

TABLA V.LXXIV. Valor actual neto

DESCRIPCIÓN	FLUJOS NETOS	AÑO	FLUJOS DESCONTADOS (Cálculo = $FN / (1+i)^n$)
Inversión inicial	-30562.00	0	-30562.00
Flujo año 1	10924.00	1	10924.00
Flujo año 2	10924.00	2	10924.00
Flujo año 3	10924.00	3	10924.00
Flujo año 4	10924.00	4	10924.00
Flujo año 5	10924.00	5	10924.00
		TOTAL:	24058.00

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

$$\text{VAN} = 24058$$

Donde:

- ✓ **FN:** Flujos netos
- ✓ **i:** Tasa de interés = 0%
- ✓ **n:** Período (años) = 5 años

RESULTADO: El VAN es positivo y mayor que cero, el proyecto se acepta.

5.5.3.2 Tasa interna de retorno (TIR)

TABLA V.LXXV. Tasa interna de retorno

DESCRIPCIÓN	FLUJOS NETOS	AÑO	FLUJOS DESCONTADOS (Cálculo = $FN / (1+i)^n$)
Inversión inicial	-30562.00	0	-30562.00
Flujo año 1	10924.00	1	8875.53
Flujo año 2	10924.00	2	7208.84
Flujo año 3	10924.00	3	5856.09
Flujo año 4	10924.00	4	4757.18
Flujo año 5	10924.00	5	3864.48
TOTAL:	54620.00	VAN:	0.12

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

$$\text{VAN} = 0.12$$

$$\text{TIR} = 23.08$$

RESULTADO: El TIR es mayor que la tasa de interés por lo que el proyecto se acepta.

5.5.3.3 Índice de rentabilidad (IR)

$$\text{Índice de rentabilidad} = \frac{\text{Sumatoria de flujos netos}}{\text{Inversión inicial}}$$

$$\text{Índice de rentabilidad} = \frac{54620.00}{30562.00} = 1,787186702$$

RESULTADO: El IR es mayor que uno por lo que el proyecto se acepta.

5.5.3.4 Período de recuperación de la inversión

TABLA V.LXXVI. Período de recuperación de la inversión

DESCRIPCIÓN	FLUJOS NETOS	AÑO	SUMATORIA DE FLUJOS NETOS
Flujo año uno	10924.00	1	10924.00
Flujo año dos	10924.00	2	21848.00
Flujo año tres	10924.00	3	32772.00
Flujo año cuatro	10924.00	4	43696.00
Flujo año cinco	10924.00	5	54620.00

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

$$\text{INVERSIÓN INICIAL} = 30562$$

RESULTADO: El período de recuperación es de: 2 años, 9 meses, 18 días.

5.5.3.5 Relación costo – beneficio (C/B)

$$C/B = \frac{\text{Total ingresos}}{\text{Total egresos}}$$

$$C/B = \frac{57120.00}{33062.00} = \mathbf{1.727663178}$$

RESULTADO: La relación C/B nos indica que por cada dólar invertido en el proyecto se gana 1,72, por lo que el proyecto es aceptable.

5.5.4 Resultados del análisis

De acuerdo a los cálculos obtenidos se tiene que la propuesta de diseño de la RSI para el monitoreo y control de los embalses requiere una inversión inicial de USD. 30562, con un tiempo de vida del proyecto de 5 años, de lo cual se ha obtenido que el VAN es positivo, la TIR es del 23,08 con un índice de rentabilidad del 1.78, una relación costo beneficio de 1.72 y con un período de recuperación de 2 años, 9 meses, 18 días.

El análisis revela que los beneficios obtenidos serán significativamente mayores que los costos incurridos por lo que financieramente la implementación del proyecto es factible y se recomienda su ejecución.

5.6 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

En la Tabla V.LXXVII. se presenta el plan de implementación a seguir en el caso de que el proyecto se implementaría.

TABLA V.LXXVII. Plan de implementación

No.	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN (DIAS)
1	Actividades iniciales	Comprende la planificación inicial para el inicio del proyecto.	15
2	Adquisición de equipamiento y accesorios	Comprende la compra e importación de los equipos y accesorios necesarios para la implementación del proyecto.	90
3	Infraestructura física	Comprende la construcción de la infraestructura física, postes, soportes e instalación de acuerdo a los requerimientos para la RSI.	60
4	Implementación del servidor	Comprende la implementación del servidor y servicios necesarios para la RSI.	5
5	Implementación de la BD	Comprende la implementación del diseño de la base de datos.	10
6	Desarrollo de la aplicación de monitoreo	Comprende el desarrollo de la aplicación web para el monitoreo y control de los parámetros definidos de la RSI.	75
7	Desarrollo de la aplicación de mantenimiento	Comprende el desarrollo de la aplicación de mantenimiento de la RSI.	60
8	Programación y configuración de equipos	Comprende la configuración, programación y pruebas de los equipos que forma parte de la RSI.	30
9	Instalación de equipos	Comprende la instalación de los equipos en los embalses de Agoyán y Pisayambo.	10
10	Pruebas del sistema y corrección de errores	Comprende la realización de las pruebas, verificación del funcionamiento y corrección de los posibles errores que se pueden presentar en la RSI.	20
11	Capacitación del sistema	Comprende la capacitación sobre la infraestructura, funcionamiento y operación de la RSI.	3
12	Entrega y recepción del sistema	Comprende la entrega y recepción de la RSI.	5

Fuente: Elaborado por Diego Vinicio Reyes Mena

El cronograma de implementación de la RSI se puede visualizar en el **ANEXO K**.

5.7 FOTOGRAFÍAS VARIAS

Finalmente, en la Figura V.71. se presentan varias fotografías de equipos instalados mediante el uso de la plataforma de RSI Waspnote.



FIGURA V.71. Fotografías de equipos instalados
Fuente: www.libelium.com

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- ✓ Las tecnología de redes de sensores inalámbricos en la actualidad se encuentra en crecimiento y cada vez es más aceptada para implementar soluciones de la vida real en los diferentes campos donde se pueda aplicar aprovechando al máximo las bondades y beneficios que la tecnología ofrece, por tal razón dicha tecnología está creciendo a pasos agigantados y en un futuro no muy lejano se constituirá como la tecnología líder en el mercado tecnológico.
- ✓ Desde el punto de vista técnico – económico, la tecnología de las RSI ofrece variadas ventajas frente a las tecnologías de medición convencionales, por tal razón dicha tecnología tiene gran aceptación por desarrolladores que ofrecen una manera distinta de solucionar los problemas de la vida real mediante el uso de la tecnología ofreciendo

un alto grado de optimización de los recursos y brindando excelentes niveles de calidad y disponibilidad de los servicios.

- ✓ Arduino y Wasmote son plataformas líderes de la tecnología de RSI, cada una con sus ventajas y desventajas y orientadas a la implementación de soluciones de problemas en diferentes campos, por tal razón, se realizó el estudio y análisis de las plataformas y las soluciones existentes en el mercado para compararlas, evaluarlas e identificar las diferencias, semejanzas y beneficios que cada plataforma ofrece.
- ✓ La evaluación y pruebas de las plataformas Arduino y Wasmote se realizó mediante la implementación de un prototipo de las plataformas, seleccionando módulos de características semejantes orientados para la implementación de soluciones profesionales para posteriormente evaluarlas bajo un mismo escenario a iguales condiciones.
- ✓ La implementación del prototipo de RSI basado en las plataformas Arduino y Wasmote permitió conocer y estudiar con mayor detalle el hardware, componentes, módulos, arquitectura, programación, equipos de medición, etc., así como realizar las pruebas para definir los aspectos que diferencian a las dos plataformas.
- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación de las plataformas Arduino y Wasmote se tiene que la plataforma Wasmote presenta un nivel mayor de rendimiento que Arduino, de igual manera cuenta con equipos y accesorios adicionales de requerimientos más elevados que no se encuentran para Arduino,

mientras que a nivel de costos y canales de distribución, Arduino ofrece su plataforma a precios más económicos y cuenta con canales de distribución local, mientras que Waspote cuenta por el momento con canales de distribución en España.

- ✓ La unidad de Negocio de Hidroagoyán cuenta con una infraestructura de comunicaciones sólida y robusta, con un nivel de rendimiento aceptable y diseñada para soportar un crecimiento futuro, por lo que se concluye que la plataforma actual de telecomunicaciones se encuentra preparada para integrar una solución para el monitoreo y control de los embalses basado en la tecnología de RSI
- ✓ El trabajo de campo realizado en la unidad de negocio Hidroagoyán de CELEC EP permitió conocer la infraestructura y definir los requerimientos para el monitoreo y control de los embalses, los mismos que combinados con la evaluación de las plataformas Arduino y Waspote permitieron seleccionar a la plataforma Waspote como la más idónea para la implementación de esta solución.
- ✓ La propuesta de diseño de la RSI basado en la plataforma Waspote se realizó considerando la optimización de los recursos tecnológicos y económicos de la empresa mediante la selección de la tecnología y plataforma adecuada que maximice los beneficios y brinde una herramienta tecnológica que permita controlar y monitorear de mejor manera los embalses de Agoyán y Pisayambo.

6.2 RECOMENDACIONES

- ✓ CELEC EP es la empresa líder de generación de energía eléctrica en el Ecuador, por tal razón para continuar manteniéndose en un nivel destacado requiere mantener su infraestructura tecnológica acorde al avance tecnológico que permita mejorar el monitoreo y control de sus recursos para ofrecer un alto grado de seguridad y disponibilidad en la generación de energía eléctrica.

- ✓ La convergencia de los servicios de comunicaciones así como la aparición de nuevos servicios y tecnologías de comunicaciones obliga al personal encargado de las Tecnologías de la Información a buscar nuevos mecanismos y métodos que permitan adaptar la actual infraestructura de comunicaciones a los nuevos cambios tecnológicos, es así que con el desarrollo de la tecnología de RSI aparece una alternativa para mejorar el monitoreo y control de los embalses, por lo que se recomienda que la implementación del diseño de la RSI para el monitoreo y control de los embalses se realice de acuerdo a los criterios expuesto en esta tesis de grado.

- ✓ Desde el punto de vista financiero, la implementación del diseño de la RSI es factible, ya que de acuerdo a los cálculos obtenidos se tiene que se requiere una inversión inicial de USD. 30562 con un tiempo de vida del proyecto de 5 años, de lo cual se ha obtenido que el VAN es positivo, la TIR es del 23,08, con un índice de rentabilidad de 1.78, una relación costo beneficio de 1.72 y con un período de recuperación de 2 años, 9 meses, 18 días, identificándose que los beneficios obtenidos serán

significativamente mayores que los costos incurridos por lo que financieramente se recomienda la implementación y ejecución del proyecto.

- ✓ La evaluación de las plataformas Arduino y Waspote permitió definir los aspectos a considerar tales como: hardware, rendimiento, precios, soporte técnico, canales de distribución, tipo de aplicación, componentes y accesorios que permitan seleccionar de mejor manera la plataforma de RSI a utilizar dependiendo del entorno y escenario donde se aplica la solución por lo que se recomienda a los investigadores y personas interesadas en la tecnología de RSI considerar los criterios expuestos en esta tesis de grado como un mecanismo de selección de las plataformas.

- ✓ Finalmente, se recomienda que en trabajos posteriores se realicen nuevas evaluaciones de rendimiento y selección de plataformas de RSI incluyendo otras plataformas que no han sido consideradas en el desarrollo de este proyecto de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. AKYILDIZ, I. Y CAN VURAM, M., *Wireless Sensor Networks.*, 1a ed., Reino Unido., John Wiley., 2010., pp 17-49.
2. BAENA, D., *Análisis Financiero: Enfoque y proyecciones.*, 1a ed., Bogotá – Colombia., Ecoe Ediciones., 2010., 348p.
3. DEITEL, P. Y DEITEL, H., *Java – Cómo programar.*, Traducido del inglés por Alfonso Martínez Roman., 9na. ed., México., Pearson., 2012., 1357p.
4. FALUDI, R., *Building Wireless Sensor Networks.*, 1a ed., California USA., O'Reilly Media., 2010., pp. 1-187.
5. FARAHANI, S., *ZigBee Wireless Networks and Transceivers.*, Burlington., MA, USA., Elsevier., 2008., 329 p.
6. GAUCHAT, J.D., *El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript.*, 1a ed., Barcelona – España., Marcombo., 2012., pp. 1-103.

7. SOMMERVILE, I., Ingeniería del Software., 7ma. ed.,
Madrid - España., Pearson Educación., 2006., 660p.

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

8. ARDUINO

<<http://www.arduino.cc/>>

2013/08/14

9. ARDUINO MEGA 2560

<<http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>>

60>

2013/08/19

10. ARDUINO Y EL XBEE SERIES 1 MODO API

<<http://fuenteabierta.teubi.co/2014/03/arduino-y-el-xbee-series-1-modo-api.html>>

2014/03/04

11. ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍAS PARA UNA SOSTENIBILIDAD INTELIGENTE

<<http://natureback.com/wp-content/uploads/2013/03/Dossier-Natureback.pdf>>

2013/12/03

12. COLASOFT CAPSA 7 NETWORK ANALYZER

<<http://www.colasoft.com/>>

2014/02/25

13. COOKING HACKS

<<http://www.cooking-hacks.com/>>

2014/02/05

14. CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR CELEC EP

<www.celec.gob.ec>

2013/07/19

15. DESARROLLO DE APLICACIONES BASADAS EN WSN

<<http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8592/PFC%20%20DESARROLLO%20DE%20APLICACIONES%20BASADAS%20EN%20WSN.pdf>>

2013/07/26

16. DIGI INTERNACIONAL

<<http://www.digi.com/>>

2013/12/13

17. DIGYTRONIC

<<http://digytronic.com/>>

2014/01/16

18. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE COMPONENTES SOFTWARE PARA DAR SOPORTE A LA PLATAFORMA MEWIN EN EL SISTEMA OPERATIVO CONTIKI.

<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1989/1/pfc_4019.pdf>

2013/11/04

19. EJEMPLOS Y GUÍA DE PROGRAMACIÓN WASPMOTE

<<http://www.libelium.com/development/waspmote/examples/>>

<<http://www.libelium.com/development/waspmote/documentation/programming-guide/>>

2013/09/26

20. EJEMPLOS Y PROGRAMACIÓN ARDUINO

<<http://arduino.cc/es/Tutorial/HomePage#.UzWOI1drx5g>>

2013/09/23

21. ELECTRÓNICA APM MICRO

<<http://www.apmmicro.com/>>

2014/01/16

22. ELECTRONICA JNC

<<http://www.electronicajnc.com/>>

2014/01/16

23. FORO LIBELIUM – WASPMOTE

<<http://www.libelium.com/forum/>>

2014/03/24

24. GENERALIDADES WASPMOTE

<<http://www.arduiteka.com/2012/06/que-es-waspmote/>>

2014/02/22

25. GUÍA TÉCNICA WASPMOTE PRO V1.2

<<http://www.libelium.com/development/waspmote/documentation/waspmote-technical-guide/?action=download>>
2014/01/07

26. ICM TECHNOLOGY

<<http://www.icm.com.ec/>>
2014/01/16

27. LIBRERÍA GIOVYNET

<http://www.giovynet.com/index_en.html>
2014/02/13

28. LIBRERÍA RXTX

<<http://mfizz.com/oss/rxtx-for-java>>
2014/02/13

**29. MANUAL DEL MOTOR DE BASE DE DATOS POSTGRESQL
9.2**

<<http://www.postgresql.org/docs/9.2/static/>>
2014/02/30

**30. METODO DE ESCALA DE PUNTUACIÓN / EVALUACIÓN
POR ESCALAS**

<<http://es.scribd.com/doc/3329772/La-evaluacion-por-escalas>>
<<http://prezi.com/janqo0kuwqod/copy-of-metodo-de-escalas-de-puntuacion/>>
2014/02/17

31. NETFLOW ANALYZER

<<http://www.manageengine.com/products/netflow/>>

2014/02/25

32. PGAdmin III

<<http://www.pgadmin.org/>>

2014/02/06

33. PLACAS SENSORAS WASPMOTE

<[http://www.libelium.com/forum/viewtopic.php?f=27
&t=12749](http://www.libelium.com/forum/viewtopic.php?f=27&t=12749)>

2014/03/03

34. PRECIOS MÓDULOS ARDUINO

<[http://digytronic.com/index.php/tienda-en-
linea/arduino/placas/mega-2560-4-r3-detail](http://digytronic.com/index.php/tienda-en-linea/arduino/placas/mega-2560-4-r3-detail)>

2014/02/05

35. PRECIOS MÓDULOS WASPMOTE

<[http://www.cooking-hacks.com/waspmote-zb-pro-
sma-2-dbi](http://www.cooking-hacks.com/waspmote-zb-pro-sma-2-dbi)>

2014/02/05

36. PROYECTOS ARDUINO

<<http://www.proyectosarduino.com/>>

2014/01/07

37. REDES DE SENSORES INALAMBRICAS

<[http://www.uv.es/~montanan/ampliacion/trabajos/Redes%20de% 20Sensores.pdf](http://www.uv.es/~montanan/ampliacion/trabajos/Redes%20de%20Sensores.pdf)>

2013/07/26

38. SITIO DE DESCARGA DEL IDE ARDUINO 1.0.5

<<http://www.arduino.cc/es/main/software>>

2013/09/11

39. SITIO DE DESCARGA DEL IDE WASPMOTE PRO IDE V.03

<http://www.libelium.com/development/waspmote/sdk_applications/>

2013/09/23

40. SITIO DE DESCARGA DEL PROGRAMA XCTU

<<http://www.digi.com/blog/community/xctu-sneak-peek-sign-up/>>

2013/12/30

41. SMART PROJECTS

<<http://www.smartprj.com/>>

2014/01/16

42. SOPORTE TÉCNICO E INFORMACIÓN

<<http://www.libelium.com/contact/#technical>>

2014/02/10

43. TECNOLOGÍA DE DESARROLLO JAVA

<<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index.html>>
2014/01/20

44. TECNOLOGÍA HTML

<<http://www.uv.es/jac/guia/>>
2014/02/17

45. TECNOLOGÍA PHP

<<http://www.php.net/>>
2014/02/19

46. UNIVERSIDAD DE LA RIOJA. Redes inalámbricas de sensores.

<<http://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf>>
2013/11/04

47. WASPMOTE

<<http://www.libelium.com/>>
2013/10/30

48. WIRESHARK

<<http://www.wireshark.org/>>
2014/02/28

49. XBEE/XBEE-PRO ZB RF MODULES

<http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_P.pdf>
2014/01/15

50. ZIGBEE Low-cost,low-power,wireless networking for device monitoring and control

<<http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee>>

2013/12/18

51. ZIGBEE Y EL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4

<http://www.dea.ica.upco.es/sadot/Comunicaciones/avanzadas/Alberto_Gasc%C3%B3n_Zigbee%20y%20el%20Est%C3%A1ndar%20IEEE%20802.15.4.pdf>

2013/11/21

RESUMEN

La presente investigación propone un diseño de red de sensores inalámbricos mediante la evaluación del desempeño de las plataformas Arduino y Wasmote bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee para el monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo de CELEC EP (Corporación Eléctrica del Ecuador Empresa Pública), Unidad de Negocio Hidroagoyán, ubicada en la provincia de Tungurahua, cantón Baños.

Se aplicó el método analítico para evaluar: hardware, disponibilidad, alcance, consumo energético, mediante valoraciones por escalas a prototipos desarrollados en iguales características, así como técnicas de recopilación informativa como: entrevista, observación y comparación.

Para desarrollar este proyecto se hizo uso de materiales: Hardware: computadora, placas Arduino, placas Wasmote, módulos Xbee, sensores, accesorios; Software: XCTU 6.0, Arduino IDE, Wasmote PRO IDE, PostgreSQL 9.2, NetBeans 7.2.1, PHP, HTML y sistema operativo CentOS 6.4.

Mediante resultados obtenidos, se generan los datos siguientes: en cuanto a hardware, disponibilidad, consumo energético, alcance, procesamiento y transmisión, tanto para Arduino y Wasmote se presenta un promedio de 1.458 y 2.542 respectivamente, obteniendo de esta manera Wasmote una gran ventaja sobre Arduino, además se evalúan los precios, canales de distribución, información, aplicación y existencia de componentes y accesorios para RSI. Por lo que de acuerdo a los requerimientos para el monitoreo y control de los embalses se considera a la plataforma Wasmote como la idónea para diseñar la red de sensores inalámbricos.

Se desarrolla una propuesta de red de sensores inalámbricos bajo la plataforma Wasmote para el monitoreo y control de los embalses de Agoyán y Pisayambo basado en optimizar los requerimientos técnicos – económicos. Se recomienda al departamento de Ingeniería de la Unidad de Negocio Hidroagoyán, implementar la solución bajo los criterios expuestos en el presente proyecto de investigación.

Palabras claves: Wireless Sensor Network, Redes de Sensores Inalámbricos, Arduino, Wasmote, Zigbee.

ABSTRACT

The present research proposes a wireless sensor network design through the performance evaluation of the Arduino and Wasmote platforms under the ZigBee communication protocol for the monitoring and control of the Agoyán and Pisayambo reservoirs from CELEC EP (Corporación Eléctrica del Ecuador Empresa Pública), Unidad de Negocio Hidroagoyán, located in the province of Tungurahua, Baños canton.

The analytic method is applied to evaluate: hardware, availability, range, energy consumption, though evaluation by scales to prototypes developed with the same characteristics, as well as the compilation of information techniques such as: interview, observation and comparison.

For developing this project some materials were used: Hardware: computer, Arduino, Wasmote boards, Xbee modules, sensors, accessories; Software: XCTU 6.0, Arduino IDE, Wasmote PRO IDE, PostgreSQL 9.2, NetBeans 7.2.1, PHP, HTML and CentOS 6.4 Operating system.

With the result obtained the following data are generated: as hardware, availability, energy consumption, range, processing and transmitting, both for Arduino and Wasmote are presented an average from 1.458 and 2.542 respectively, obtaining a big advantage over Arduino, moreover the prices are evaluated, distribution channels, information, application and existence of components and accessories for RSI. According to the requirements for monitoring and control of the reservoirs it is considered the Wasmote platform as the suitable to design the wireless sensor network.

A wireless sensor network proposal is developed under the Wasmote platform for monitoring and control of the Agoyán and Pisayambo reservoirs based on optimizing the technical - economical requirements. It is recommended to Unidad de Negocio Hidroagoyán department of engineering implement the solution under the criteria exposed in the present research project.

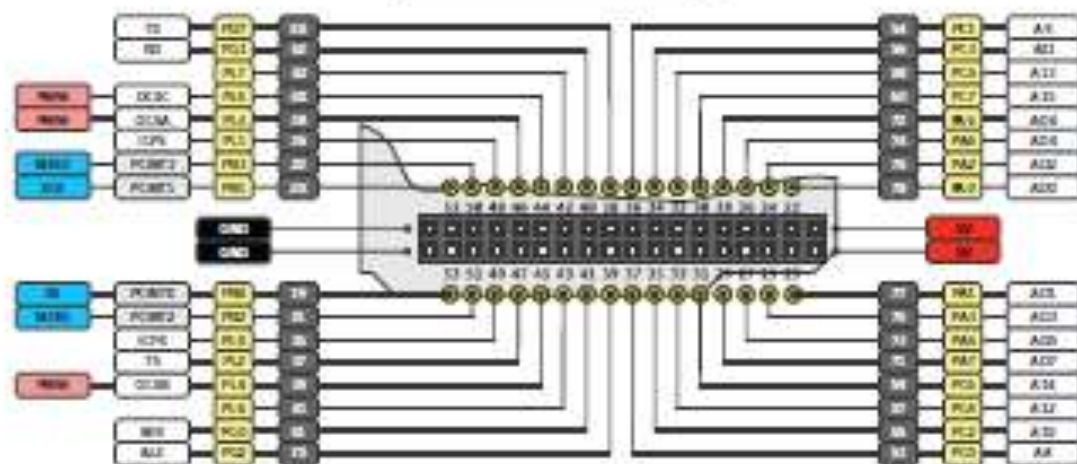
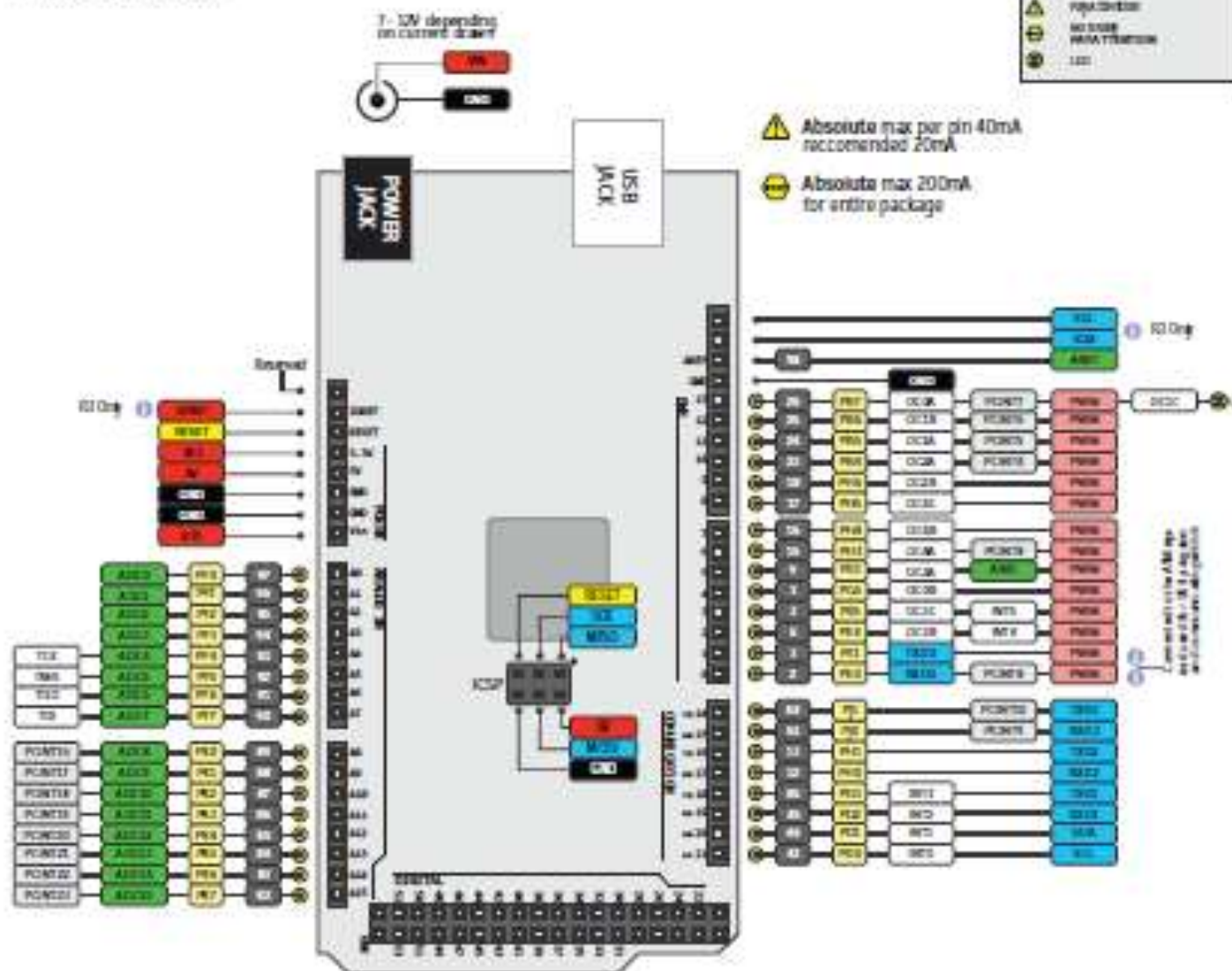
ANEXOS

THE UNOFFICIAL
ARDUINO
MEGA
 PINOUT DIAGRAM

LEGEND

DCD
POWER
CONTROL
PHYSICAL I/O
PORT I/O
A/MEGA I/O FUNC
DIGITAL I/O
ANALOG I/O/REF I/O
SWITCH I/O
SIGNAL I/O

General information
 Voltage divider
 Microcontroller
 Resistor
 LED



ANEXO B. CODIGO FUENTE DE LAS CLASES JAVA

✓ ArduinoWasmote.java

```
public class ArduinoWasmote {
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        int a=0, b=1, p=0, x=0;
        String cadena=" ", cad = "#IN_TEMP:";
        while(x==0){
            SerialPort free = new SerialPort();
            List<String> portList = free.getFreeSerialPort();
            for (String string : portList) {
                if(string.equals("COM6"))
                    x=1;
                System.out.println(string);
            }
        }
        x=0;
        Parameters settings = new Parameters();
        settings.setPort("COM6");
        settings.setBaudRate(Baud._115200);
        settings.setMinDelayWrite(SerialPortEvent.DATA_AVAILABLE);
        while (SerialPortEvent.DATA_AVAILABLE==1) {
            Com com6 = new Com(settings);
            cadena = com6.receiveToString(300);
            if (cadena.indexOf(cad)!=-1){
                String[] cadw = cadena.split("#IN_TEMP:");
                for (int i = 1; i < cadw.length; i++) {
                    cadena = cadw[i];
                    cadena = cadena.substring(0,5);
                    p=2;
                    System.out.println(cadena);
                }
            }
            else{
                String[] cada = cadena.split("r");
                for (int i = 1; i < cada.length; i++) {
                    cadena = cada[i];
                    cadena = cadena.substring(0, 5);
                    p=1;
                    System.out.println(cadena);
                }
            }
            if (p==1 || p==2){
                a=a+1;
            }
        }
    }
}
```

```

        rnegocioFunciones.FMedicion.insertarMedicion(a, cadena.toString(), b,
p);
        p=0;
    }
    com6.close();
}
}
}
}

```

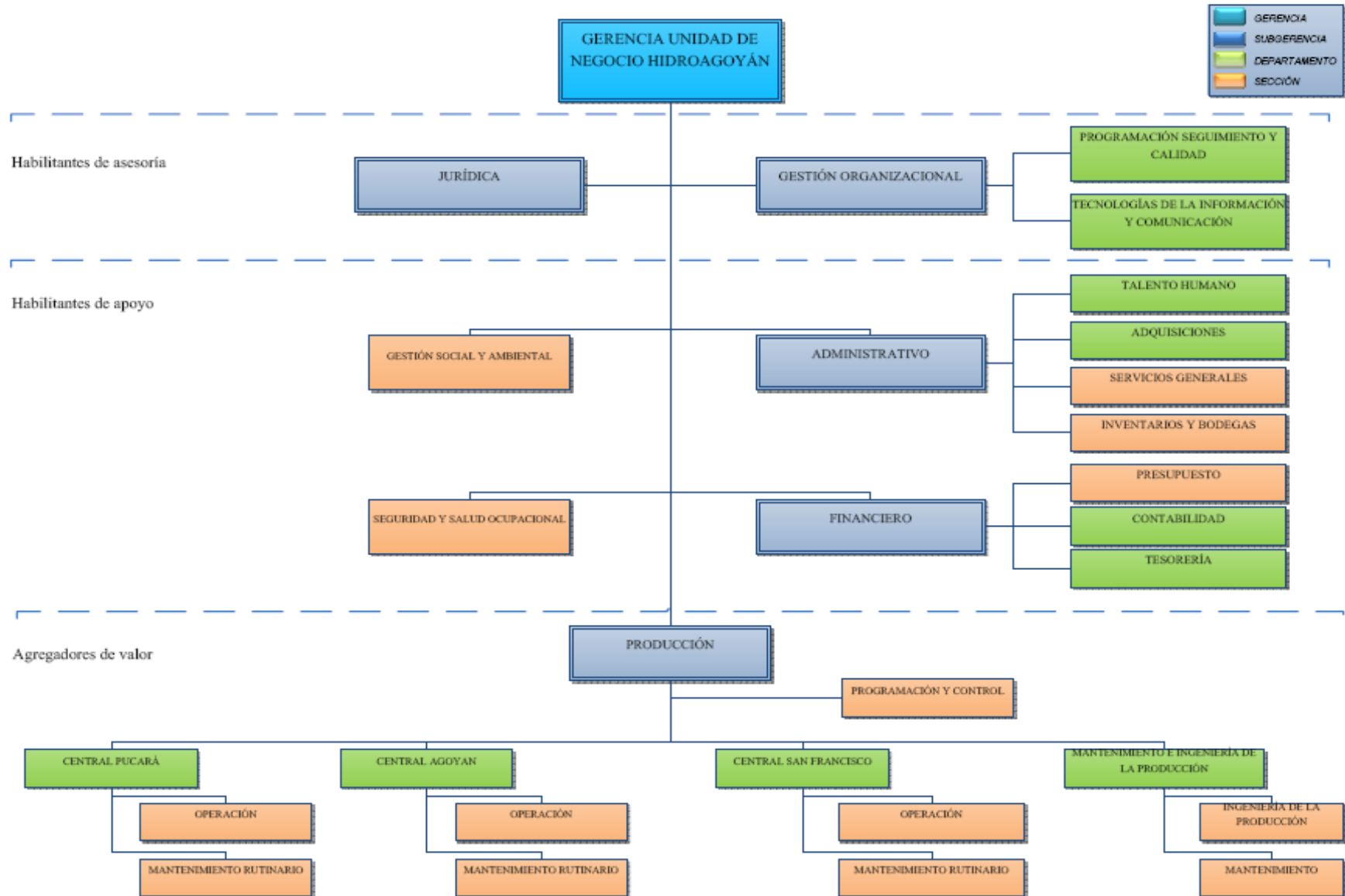
✓ FMedicion.java

```

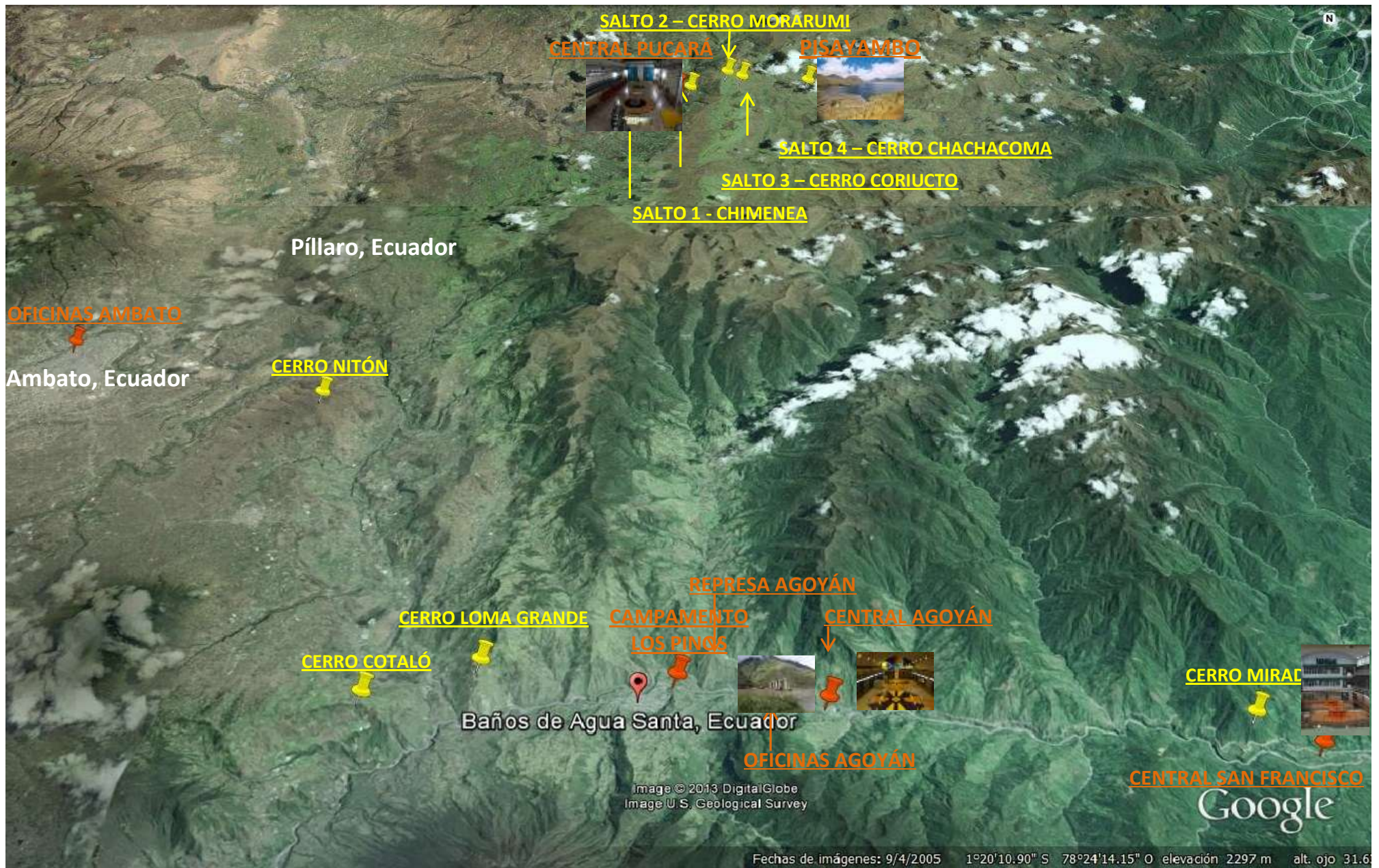
public class FMedicion {
    public static void insertarMedicion(int a, String c, int b, int d) throws Exception{
        String sql="Select * from hidroagoyan.f_insertar_medicionAW(?,?,?,?)";
        ArrayList<Parametro> lstP=new ArrayList<Parametro>();
        lstP.add(new Parametro(1, a));
        lstP.add(new Parametro(2, c));
        lstP.add(new Parametro(3, b));
        lstP.add(new Parametro(4, d));
        try {
            ConjuntoResultado crs =AccesoDatos.ejecutaQuery(sql,lstP);
        } catch (Exception ex) {
            throw new Exception("ERROR EN CONEXIÓN CON LA
BD:"+ex.getMessage());
        }
    }
}
}
}

```

ANEXO C. Organigrama – CELEC EP Unidad de Negocio Hidroagoyán



ANEXO D. Ubicación Geográfica de la infraestructura de la Unidad de Negocio Hidroagoyán



ANEXO E. FORMATO DE LA ENTREVISTA

DISEÑO DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE LOS EMBALSES DE AGOYÁN Y PISAYAMBO

PREGUNTAS DE LA ENTREVISTA

1. Datos personales

Fecha:

Cargo:

Nombre:

Ubicación:

- 2.Cuál es la importancia de los embalses en la generación eléctrica.**
- 3. Porque es importante monitorear los embalses.**
- 4. Que contempla el monitoreo de las embalses de Agoyán y Pisayambo.**
- 5. Actualmente se tiene monitoreado algo.**
- 6. Como son los procedimientos que ejecutan para monitorear.**
- 7. Definir las variables a monitorear.**
- 8. Conoce otros mecanismos de monitoreo.**
- 9. Ha escuchado o conoce sobre la red de sensores inalámbricos.**
- 10. Explicación rápida sobre la tecnología de las redes de sensores inalámbricos.**
- 11. Requerimientos adicionales.**
- 12. Visita a las instalaciones.**

ANEXO F. Definiciones utilizadas en el monitoreo de embalses

No.	PARÁMETRO	DEFINICIÓN
1	Embalse	<p>Se denomina embalse a la acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce.</p> <p>La obstrucción del cauce puede ocurrir por causas naturales como, por ejemplo, el derrumbe de una ladera en un tramo estrecho del río o arroyo, la acumulación de placas de hielo o las construcciones hechas por los castores, y por obras construidas por el hombre para tal fin, como son las presas.</p>
2	Centro de control	El Centro de Control o Centro de Operaciones es uno o más sitios desde los cuales se efectúa el control de las centrales hidroeléctricas y es el responsable de monitorizar, controlar y operar los sistemas en función de alarmas o condiciones que requieran atención especial para evitar impacto en el rendimiento y paralizaciones de las Centrales Hidroeléctricas.
3	Operador	Se entiende por operador u operadores a aquel trabajador que por lo general se encarga de monitorear, controlar, operar y realizar las actividades necesarias para el correcto funcionamiento de las Centrales Hidroeléctricas.
4	Medición	Es el proceso que consiste en comparar un patrón seleccionado con el objeto o fenómeno cuya magnitud física se desea medir para ver cuántas veces el patrón está contenido en esa magnitud.
5	Caudal	<p>Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. El caudal de un río puede calcularse a través de la siguiente fórmula: $Q = A \bar{v}$</p> <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Q : Caudal ($[L^3T^{-1}]$; m³/s) • A : Es el área ($[L^2]$; m²)

		<ul style="list-style-type: none"> • \bar{v} : Es la velocidad lineal promedio. ($[LT^{-1}]$; m/s)
6	Humedad del aire	La cantidad de vapor de agua presente en el aire.
7	Humedad del suelo	Es la cantidad de agua que el suelo contiene en el momento de ser extraído.
8	Nivel del agua	Es el valor que la superficie del agua puede alcanzar en un embalse en circunstancias normales cuando éstas no exijan el vertido por los aliviaderos.
9	Temperatura del Agua	Temperatura del agua es la temperatura (grado de calor o frío) que se puede medir en el agua.
10	Temperatura del Ambiente	Temperatura ambiente es la temperatura (grado de calor o frío) que se puede medir en un ambiente actual.
11	Presión Atmosférica	Es la presión que ejerce el peso de las masas de aire en todas direcciones, además, varía con la altitud y con la temperatura.
12	Velocidad del viento	Es el movimiento de masas de aire de acuerdo con las diferencias de presión atmosférica.
13	Precipitación	Es cualquier forma de hidrometeoro procedente del agua atmosférica en forma de nubes y cae a la superficie terrestre por medio de las precipitaciones (lluvia, nieve, granizo, etc.).
14	Nubosidad	La nubosidad es la fracción de cielo cubierto con nubes, en un lugar en particular.
15	Visibilidad	La visibilidad es la cualidad perceptible, que permite ver objetos a una determinada distancia. A menor visibilidad peor se verán objetos a la lejanía, mientras que a mayor visibilidad se verán mejor objetos lejanos.

ANEXO G. Ubicación física de los nodos de la RSI



EMBALSE DE AGOYÁN

9

10

EC

Image Landsat

Google earth

1970

Fechas de imágenes: 4/9/2013 1°23'51.57" S 78°23'00.09" O elevación 1665 m alt. ojo 2.41 km

ANEXO H. Cálculo del precio de las aplicaciones

La estimación del costo de las aplicaciones se realizó mediante la utilización de la técnica de líneas de código cuyo detalle se presenta en la siguiente tabla:

N° Pág.	TIPO	DETALLE	LÍNEAS DE CÓDIGO	PRECIO LC (\$)	PRECIO (\$)
APLICACIÓN DE MONITOREO Y CONTROL					
1	HTML	Inicio	260	0,20	52
1	HTML	Datos para reportes	200	0,20	40
1	HTML	Inicio de sesión	120	0,20	24
20	PHP	Censado individual	6000	0,25	1500
2	PHP	Censado general	1300	0,25	325
3	PHP	Reportes	540	0,25	135
2	CSS	Hojas de estilo y otras	2000	0,30	600
TOTAL					2676
APLICACIÓN DE ADMINISTRACIÓN Y MANTENIMIENTO					
4	JAVA	Clases java	500	0,15	75
1	HTML	Inicio	260	0,20	52
1	HTML	Inicio de sesión	120	0,20	24
1	HTML	Mantenimiento	250	0,20	50
5	PHP	Creación	1500	0,25	375
5	PHP	Modificación	1500	0,25	375
5	PHP	Eliminación	1500	0,25	375
5	PHP	Actualización	1500	0,25	375
4	PHP	Mantenimiento y control	2000	0,25	500
3	PHP	Reportes	540	0,25	135
2	CSS	Hojas de estilo y otras	2000	0,30	600
TOTAL					2936

De lo cual se estima que el precio de la aplicación para el monitoreo y control de los embalses es de USD. 2676 (Dos mil seis cientos setenta y seis dólares), mientras que el precio de la aplicación de administración y mantenimiento es de USD 2936 (Dos mil novecientos treinta y seis dólares) dando un total de USD. 5612 (Cinco mil seis cientos doce dólares).

ANEXO I. Cálculo del tamaño de la Base de Datos.

De acuerdo al diseño físico de la base de datos, se estima el tamaño de las tablas que mantienen un tamaño fijo en la base de datos según el detalle presentado en la siguiente tabla:

N°	TABLA	DETALLE	TOTAL (bytes)
1	TIPO_USR	5 tipos de usuario	620
2	USUARIO	10 usuarios	2720
3	UNIDAD	1 unidad de negocio	154
4	EMBALSE	2 embalses	116
5	NODO	10 nodos	2080
6	SENSOR	20 sensores	3160
7	ESTADO	4 estados	416
TOTAL:			9266

Se tiene que el tamaño fijo de la base de datos será de aproximadamente 9266 Bytes.

El cálculo del tamaño para las tablas que almacenan los datos de las lecturas de la RSI y que permanecen variable se presenta en la siguiente tabla:

N°	RECURSO	MEDICIÓN	PERIODICIDAD (min)	TAMAÑO (bytes)	NUMERO DE MEDICIONES DIARIAS	TAMAÑO MEDICIONES DIARIAS (bytes)
PISAYAMBO						
1	Río Quillopacha - Agualongopungo	Caudal	60	44	24	1056
2	Río Milín	Caudal	60	44	24	1056
3	Río Roncador	Caudal	60	44	24	1056
4	Río Talatag	Caudal	60	44	24	1056
5	Río Tambo	Caudal	60	44	24	1056
6	Presa Pisayambo	Nivel embalse	60	44	24	1056
7	Presa Pisayambo	Humedad	30	44	48	2112
		Temperatura del agua	30	44	48	2112
		Temperatura del ambiente	30	44	48	2112
8	Presa Pisayambo	Nivel de lluvia	30	44	48	2112
		Dirección del viento	30	44	48	2112
		Velocidad del aire	30	44	48	2112
		Calidad del aire	30	44	48	2112
AGOYÁN						
9	Represa Agoyán	Humedad	30	44	48	2112
		Temperatura del agua	30	44	48	2112
		Temperatura del ambiente	30	44	48	2112
10	Represa Agoyán	Nivel de lluvia	30	44	48	2112
		Dirección del viento	30	44	48	2112
		Velocidad del aire	30	44	48	2112
		Calidad del aire	30	44	48	2112
TOTAL:						35904

Se tiene que el tamaño de las tablas que permanecen variable de la base de datos será de aproximadamente de 35904 Bytes diarios, teniendo un tamaño de la base de datos anual de 12,4979 MB

Es así que el crecimiento anual de la base de datos es de 12,5067 MB, y proyectado a 5 años será de 62,536840 MB.

ANEXO J. Modelo de las interfaces propuestas

(A) Página principal

Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC EP
Unidad de Negocio Hidroagoyán

MONITOREO Y CONTROL DE LOS EMBALSES

CELEC EP
Corporación Eléctrica del Ecuador
UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

MEDICIONES

AGOYÁN

[HUMEDAD](#)
[TEMPERATURA](#)

- Ambiente
- Agua

[NIVEL](#)

- Lluvia
- Luminosidad

[AIRE](#)

- Velocidad
- Calidad

PISAYAMBO

[HUMEDAD](#)
[TEMPERATURA](#)

- Ambiente
- Agua

[NIVEL](#)

- Embalse
- Lluvia
- Luminosidad

[AIRE](#)

- Velocidad
- Calidad

[CAUDAL](#)

- Mifin
- Quilopacha
- Rencador
- Talatar
- Taribe

SENSADO GENERAL

[AGOYÁN](#)
[PISAYAMBO](#)
[REPORTES](#)

BIENVENID@S

**SISTEMA DE
MONITOREO Y CONTROL DE
EMBALSES**

Copyright 2014 Todos los derechos reservados

Elaborado por: Diego Vinicio Reyes Mena

(B) Interfáz: Censado Individual

 **Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC EP**
Unidad de Negocio Hidroagoyán

MONITOREO Y CONTROL DE LOS EMBALSES

 **CELEC EP**
UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN

 **Ministerio de Electricidad y Energía Renovable**



MEDICIONES

AGOYÁN

[HUMEDAD](#)
[TEMPERATURA](#)

- [Ambiente](#)
- [Agua](#)

[NIVEL](#)

- [Lluvia](#)
- [Luminosidad](#)

[AIRE](#)

- [Velocidad](#)
- [Calidad](#)

PISAYAMBO

[HUMEDAD](#)
[TEMPERATURA](#)

- [Ambiente](#)
- [Agua](#)

[NIVEL](#)

- [Embalse](#)
- [Lluvia](#)
- [Luminosidad](#)

[AIRE](#)

- [Velocidad](#)
- [Calidad](#)

[CAUDAL](#)

- [Ml/m](#)
- [Quilopacha](#)
- [Rencador](#)
- [Talar](#)
- [Tambo](#)

SENSADO GENERAL

- [AGOYÁN](#)
- [PISAYAMBO](#)
- [REPORTES](#)

SENSADO: EMBALSE AGOYÁN

* **UBICACION:** Compuerta uno-Río Pastaza
* **SENSOR:** TEMPERATURA DE AGUA
* **FECHA:** 19 de Febrero del 2014
* **HORA:**

MEDICIÓN

Medida	Unidad
09.95	°C

ESTADO

 La medición se encuentra dentro de los parámetros **NORMALES**

Posibles Estados

- Normal 
- Precaución 
- Peligro 

Copyright 2014 Todos los derechos reservados. Elaborado por: Diego Vinicio Reyes Mena.

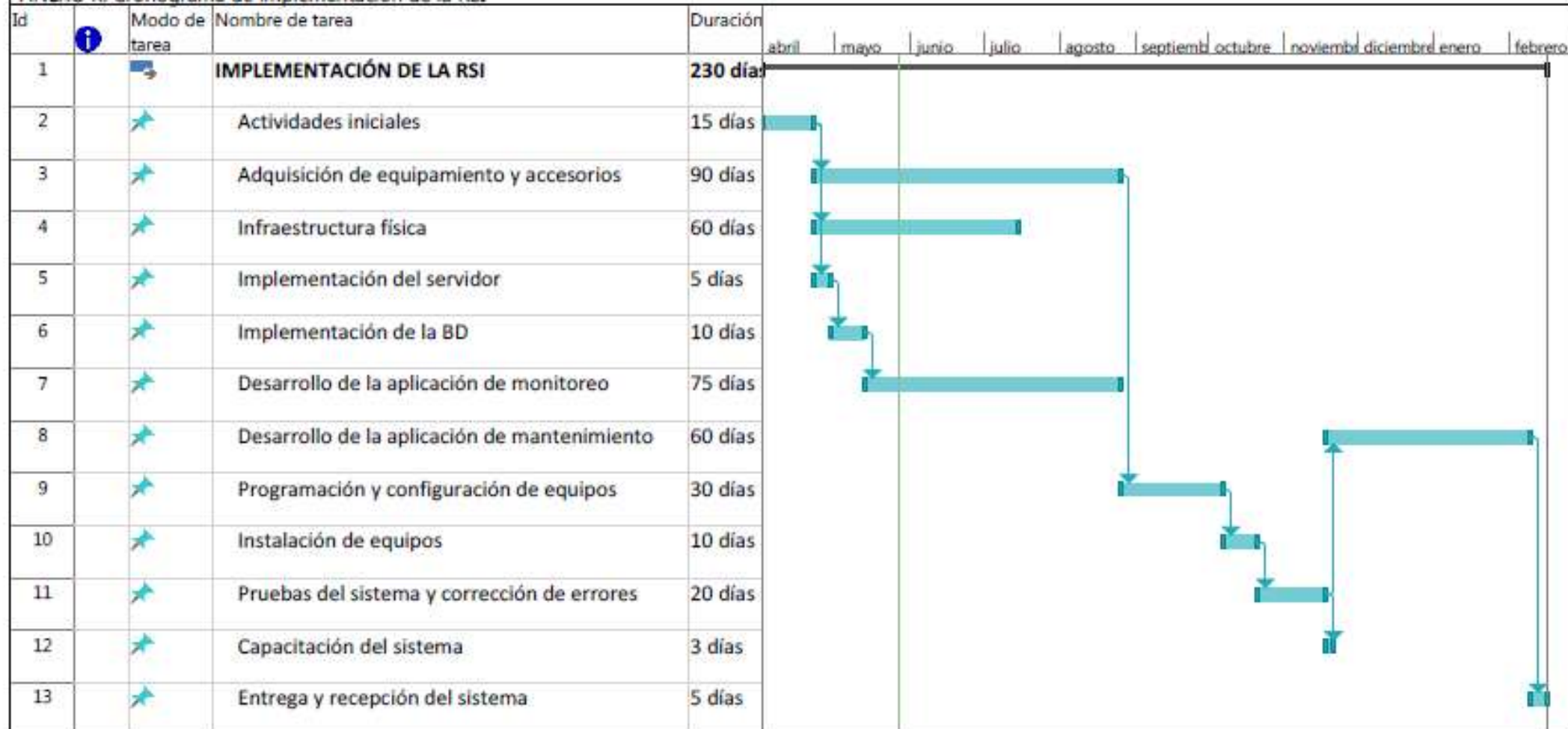
(C) Interfáz: Censado General



(D) Interfáz: Reportes



ANEXO K. Cronograma de implementación de la RSI



Proyecto: Cronograma impleme	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha limite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			