



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

“Red de sensores inalámbricos para monitoreo de parámetros hidrológicos aplicado en lagunas, estanques y plantas de tratamiento de agua”

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Autores:

DAVID LEONARDO GALINDO TOAPANTA

CÉSAR PAÚL SÁNCHEZ ORTÍZ

Director:

DANIEL ESTEBAN ITURRALDE PIEDRA

CUENCA, ECUADOR

2015

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas las personas que han estado cercanas y pendientes durante todos estos años de estudio.

En especial a mi familia, a mi madre, padre y hermano, por todo el apoyo brindado en estos años de estudio, gracias por su paciencia, apoyo moral y económico.

A mi novia Verónica, que siempre me apoyado en las decisiones que he tomado, en especial por estar pendiente durante esta etapa importante de mi vida.

David Leonardo Galindo Toapanta

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a la memoria de mi hija Paulina Julieth Sánchez Basurto (+), pues para mí significa mucho más que una promesa el haber culminado con éxito la presente. A mi madre Teresita Ortíz quien me demostró su apoyo incondicional en todos los ámbitos de la vida, más aun en esta etapa de formación universitaria.

César Paúl Sánchez Ortíz.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas e instituciones que han permitido y formado parte de la realización de este.

A la universidad del Azuay por brindar una educación de calidad y con ética profesional.

A nuestro tutor Msc. Daniel Iturralde piedra, que a lo largo de la realización de esta trabajo nos ha sabido guiar con paciencia y amabilidad, agradeciéndole por la experiencia compartida y el tiempo que tuvo durante la realización de este trabajo.

A los miembros del tribunal por la prestancia y colaboración que tuvieron durante la realización del trabajo.

Al personal de la empresa Municipal Etapa por la colaboración en el uso de sus instalaciones de la planta de tratamiento de agua de San Pedro del Cebollar. A nuestro compañero Francisco Cherras y Andrés Duque, por la colaboración durante este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por haberme permitido ser partícipe de un logro más ven mi vida, a mi amigo David Leonardo Galindo Toapanta quien ha trabajado conjuntamente conmigo para la elaboración de este trabajo. A los miembros del tribunal de defensa de esta tesis (Ing. Omar Alvarado, Ing. Francisco Vázquez.).

A los compañeros Andrés Duque y Esteban Cherres por la colaboración en la compra de los módulos y por permitirnos realizar las respectivas pruebas físicas del módulo móvil.

Mención especial se merece el Msc. Daniel Esteban Iturralde Piedra quien desde un principio creyó en las capacidades y destrezas de nosotros, y nos brindó su apoyo incondicional, colaborando con su valioso tiempo y sus acertadas observaciones.

César Paúl Sánchez Ortíz.

**“RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA MONITOREO DE
PARÁMETROS HIDROLÓGICOS APLICADO EN LAGUNAS, ESTANQUES
Y PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA”**

RESUMEN

El presente trabajo, tiene como objetivo diseñar e implementar una red de sensores inalámbricos usando el protocolo IEEE 802.15.4 (ZigBee) para el monitoreo a distancia de parámetros físicos del agua como turbidez, temperatura, y conductividad. El sistema consta de tres nodos que son: un coordinador, un repetidor y uno de exploración móvil. En el nodo coordinador se visualizan los datos y la interfaz de usuario para el control del módulo móvil. El nodo repetidor sirve de enlace para ampliar la cobertura de la red. Por último el módulo móvil, es controlado por un microcontrolador, consta de motores para realizar los desplazamientos en el agua y los sensores antes mencionados para adquirir datos en tiempo real.

Palabras Clave: Módulo móvil acuático, XBee, ZigBee, IEEE 802.15.4, microcontrolador, sensores, LabVIEW, adquisición de datos, parámetros, monitoreo.

Hugo Marcelo Torres Salamea
Director de Escuela

Daniel Esteban Iturralde Piedra
Director de Tesis

David Leonardo Galindo Toapanta

César Paúl Sánchez Ortíz

Autores

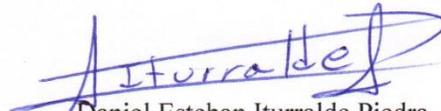
**"WIRELESS SENSOR NETWORK FOR MONITORING HYDROLOGICAL
PARAMETERS APPLIED IN LAKES, PONDS AND WATER TREATMENT
PLANTS"**

ABSTRACT

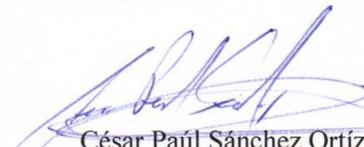
The present work aims at designing and implementing a wireless sensor network using IEEE 802.15.4 (ZigBee) protocol for remote monitoring of physical water parameters as turbidity, temperature, and conductivity. The system consists of three nodes which are: a coordinator, a repeater, and a mobile scanner. Data and user's interface for controlling the mobile module is displayed on the coordinator node. The repeater node serves as a link to extend network coverage. Finally, the mobile module is controlled by a microcontroller, which comprises motors for displacement in water, and the above mentioned sensors to acquire data in real time.

Keywords: Aquatic Mobile Module, Xbee, Zigbee, IEEE 802.15.4, Microcontroller, Sensors, Labview, Data Acquisition, Parameters, Monitoring.


Hugo Marcelo Torres Salamea
School Director

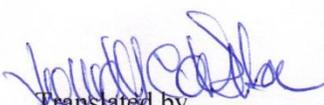

Daniel Esteban Iturralde Piedra
Thesis Director


David Leonardo Galindo Toapanta


César Paúl Sánchez Ortíz

Authors


UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas


Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1
1. CAPÍTULO I: ANÁLISIS SOBRE LAS REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS.....	3
1.1. Red de Sensores Inalámbricos (WSN).....	3
1.1.1. Características de (WSN).....	4
1.1.2. Nodo Sensor.....	5
1.1.3. Diseño de Una Red de Sensores.....	6
1.1.4. Aplicaciones de (WSN).....	7
1.2. Redes IEEE 802.15.4.....	9
1.3. Red de Sensores Inalámbricos Usando ZigBee.....	9
1.3.1. Protocolo ZigBee.....	10
1.3.2. Características de ZigBee.....	10
1.3.3. Arquitectura ZigBee.....	11
1.3.4. Topologías de comunicación ZigBee.....	13

1.3.5. Elementos de Una Red ZigBee.....	17
1.3.6. Direccionamiento en ZigBee.....	18
2. CAPÍTULO II: ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS SENSORES DEL SISTEMA.....	21
2.1. Parámetros Físicos del Agua.....	21
2.1.1. Antecedentes.....	22
2.1.2. Propuesta.....	23
2.1.3. Concepto de Temperatura.....	23
2.1.4. Concepto de Turbiedad.....	24
2.1.5. Concepto de Conductividad.....	24
2.1.6. Concepto de Salinidad.....	24
2.2. Sensores y Transductores.....	25
2.2.1. Sensor.....	25
2.2.2. Transductor.....	25
2.2.3. Sensor de Temperatura.....	25
2.2.4. Sensor de Conductividad.....	27
2.2.5. Sensor de Turbiedad.....	29
2.3. Diseño de un Circuitos y Acoplamiento de Señales del Sistema.....	29
2.3.1. Diseño de circuito para medición de Temperatura.....	31
2.3.2. Diseño de circuito para medición de Conductividad.....	32
2.3.3. Diseño de circuito para medición de Turbiedad.....	38
2.3.4. Medición de Salinidad.....	42
3. CAPÍTULO III: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL NODO DE EXPLORACIÓN ACUÁTICO.....	43
3.1. Diseño electrónico.....	43
3.1.1. Especificaciones de Hardware.....	43
3.1.2. Sistema Autónomo de Energía.....	55
3.1.3. Diseño de Placas Electrónicas.....	63
3.1.4. Software de control para Módulo Móvil.....	74
3.2. Diseño mecánico.....	79
3.2.1. Diseño de Estructura.....	79
3.2.2. Flotabilidad.....	83
3.2.3. Navegación y Maniobrabilidad del Prototipo.....	84
3.2.4. Seguridad y Protección del prototipo.....	86
3.3. Interfaz Gráfica de Usuario.....	88
3.3.1. LabVIEW.....	88
3.3.2. Desarrollo de interfaz gráfica.....	88

4. CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS BASADO EN EL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4/ZIGBEE.....	106
4.1. Módulos XBee.	106
4.1.1. Descripción de los módulos RF XBee.....	106
4.1.2. Módulos XBee Pro Series 2 (PRO S2).....	108
4.1.3. Operación del Módulo RF.....	109
4.1.4. Modos de Operación.....	113
4.1.5. Software X-CTU.....	115
4.2. Implementación de la Red de Sensores Inalámbricos.....	116
4.2.1. Requerimientos.....	116
4.2.2. Topología de la red.....	117
4.2.3. Red de comunicación.....	119
4.2.4. Programación de los módulos XBee.....	120
4.3. Pruebas y Resultados.....	133
4.3.1. Pruebas de conectividad y exploración de la Red.....	133
4.3.2. Pruebas de medición de alcance y de transmisión de paquetes.....	134
4.3.3. Pruebas en modo Sueño.....	138
4.3.4. Pruebas de medición de los sensores.....	139
4.3.5. Pruebas de Campo del control de carga de la batería.....	147
CONCLUSIONES.....	149
BIBLIOGRAFÍA.....	152

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Infraestructura externa, nodos sensores sensor inalámbrico típico.....	5
Figura 1.2. Arquitectura del sistema, nodo sensor inalámbrico típico.....	6
Figura 1.3. Arquitectura de nodo LR-WPAN.....	12
Figura 1.4. Bandas de frecuencia y asignación de Canales.....	13
Figura 1.5. Topología ZigBee.....	14
Figura 1.6. Topología Árbol.....	15
Figura 1.7. Asignación de direcciones por defecto en topología árbol.....	16
Figura 1.8. Diagrama de Venn, canal PAN y su direccionamiento.....	20
Figura 2.1. Esquema sensorial de parámetros físicos del Agua.....	22
Figura 2.2. Sensor de temperatura, sonda Ds18b20.....	26
Figura 2.3. Circuito de Conductividad.....	28
Figura 2.4. Esquema de acondicionamiento del circuito de Temperatura.....	31
Figura 2.5. Simulación del circuito de Temperatura en Proteus.....	32
Figura 2.6. Esquema de acondicionamiento del circuito de Conductividad.....	32
Figura 2.7. Simulación del circuito de Conductividad en Proteus.....	33
Figura 2.8.1. Simulación de la Etapa 1 del circuito de Conductividad.....	34
Figura 2.8.2. Gráfica de onda cuadrada en Proteus.....	34
Figura 2.8.3. Simulación de la Etapa 2 del circuito de Conductividad.....	35

Figura 2.8.4. Simulación de la Etapa 3 del circuito de Conductividad.....	36
Figura 2.8.5. Simulación de la Etapa 4 del circuito de Conductividad.....	37
Figura 2.8.6. Gráfica de la onda rectificada.....	37
Figura 2.9. Esquema de acondicionamiento del circuito de Turbiedad.....	39
Figura 2.10. Simulación del circuito de Turbiedad en Proteus, fotodiodo Emisor.....	39
Figura 2.11. Simulación del circuito de Turbiedad en Proteus, fotodiodo Receptor.....	41
Figura 2.12. Esquema de la Estructura del medidor de Turbiedad.....	41
Figura 3.1. Placa Arduino Mega 2560 R3.....	45
Figura 3.2. Microcontrolador PIC18F4550.....	46
Figura 3.3. XBee Shield.....	47
Figura 3.4. Módulo XBee pro 50mw, antena cable.....	48
Figura 3.5. XBee Explorer USB.....	49
Figura 3.6. Integrado L298N (Puente H).....	50
Figura 3.7. Motores de Corriente Continua.....	51
Figura 3.8. (a) Motor Brushless (b) Controlador de motor.....	53
Figura 3.9. LCD 20X4.....	54
Figura 3.10. Sistema autónomo de energía, nodo final.....	56
Figura 3.11. Baterías recargables a utilizar en el proyecto.....	57

Figura 3.12. Panel Solar Zytech.....	57
Figura 3.13. Simulación circuito control de carga de Batería.....	62
Figura 3.14. Simulación Circuito Controlador de Motores.....	63
Figura 3.15. Diseño de placa electrónica, control de motores en Proteus.....	65
Figura 3.16. Placa Electrónica física del control de motores.....	65
Figura 3.17. Placa Dispositivo Final PCB en Linewire.....	66
Figura 3.18. Placa Electrónica física del módulo dispositivo final.....	67
Figura 3.19. Placa módulo router en Linewire.....	68
Figura 3.20. Placa Electrónica física del módulo router.....	68
Figura 3.21. Placa Sensor de Conductividad en Linewire.....	69
Figura 3.22. Placa Electrónica física del sensor de conductividad.....	70
Figura 3.23. Placa Sensor de Turbiedad PCB en Linewire.....	71
Figura 3.24. Placa Electrónica física del sensor de turbiedad.....	71
Figura 3.25. Placa Controladora de Carga de Batería en Linewire.....	73
Figura 3.26. Placa Electrónica física del controlador de carga de batería.....	74
Figura 3.27. Esquema para el control del módulo acuático móvil.....	75
Figura 3.28. Diagrama de flujo de los movimientos del módulo móvil acuático.....	76
Figura 3.29. Diagrama de flujo de adquisición de señales del módulo móvil acuático.....	78
Figura 3.30. Corte de la plancha de hierro galvanizado, estructura del chasis.....	81
Figura 3.31. Ensamblaje de la estructura del chasis, del módulo móvil acuático.....	81

Figura 3.32. Ensamblaje de la estructura, soporte del chasis del módulo móvil acuático.....	82
Figura 3.33. Ensamblaje del panel solar en la estructura del chasis, del módulo móvil acuático.....	82
Figura 3.34. Sistema de Flotabilidad, boya tubular de caucho y tabla de espuma flotante.....	83
Figura 3.35. Sistema de Flotabilidad del módulo móvil acuático.....	84
Figura 3.36. Acoplamiento de hélices a la estructura del módulo móvil acuático.....	85
Figura 3.37. Aislamiento de los motores del módulo móvil acuático.....	86
Figura 3.38. Aislamiento del módulo móvil acuático (silicón frio).....	87
Figura 3.39. Módulo móvil acuático.....	87
Figura 3.40. Panel frontal, portada del proyecto.....	89
Figura 3.41. Panel frontal, configuración del puerto serial.....	90
Figura 3.42. Panel frontal, monitoreo y control de parámetros del agua en una red de sensores inalámbricos.....	92
Figura 3.43. Panel frontal, mando del módulo móvil.....	93
Figura 3.44. Panel frontal, nivel de turbiedad del agua.....	94
Figura 3.45. Panel frontal, nivel de conductividad y salinidad del agua.....	95
Figura 3.46. Panel frontal, control de nivel de la carga de batería del módulo móvil....	96
Figura 3.47. Diagrama de bloques, inicio de la comunicación mediante NI VISA.....	97
Figura 3.48. Diagrama de bloques, mando del módulo explorador.....	98
Figura 3.49. Diagrama de bloques, función concatenar.....	98
Figura 3.50. Diagrama de bloques, función VISA WRITE.....	99

Figura 3.51. Diagrama de bloques, función VISA READ.....	100
Figura 3.52.a. Diagrama de bloques, lectura y conversión de datos, sensor del Conductividad.....	101
Figura 3.52.b. Diagrama de bloques, cálculos para valores de datos del sensor de Conductividad y Salinidad.....	102
Figura 3.53a Diagrama de bloques, lectura y conversión de datos, sensor de Turbiedad.....	102
Figura 3.53.b. Diagrama de bloques, cálculos para valores de datos y nivel del sensor de Turbiedad.....	103
Figura 3.54.a. Diagrama de bloques, lectura y conversión de datos del nivel de la Batería.....	104
Figura 3.54.b. Diagrama de bloques, cálculos para valores de nivel de carga o descarga de la Batería.....	104
Figura 3.55. Diagrama de bloques, lectura y cálculos para calibración de los valores del sensor de Temperatura.....	105
Figura 4.1. Tipos de radios XBee Regular y PRO de la Serie 2.....	107
Figura 4.2. Sistema de flujo de datos en una interfaz UART.....	110
Figura 4.3. Paquete de datos UART 0x1F (número decimal "31") transmitido a través del módulo de RF.....	110
Figura 4.4. Diagrama de flujo de datos del terminal.....	111
Figura 4.5. Sintaxis para enviar un comando AT.....	114
Figura 4.6. Funciones de los elementos de la red de sensores inalámbricos.....	117
Figura 4.7. Red de sensores inalámbricos para monitoreo de parámetros hidrológicos.....	120
Figura 4.8. Ventana administrador de dispositivos, puertos (COM y LTP).....	121
Figura 4.9. Software X-CTU, comprobación de la conexión.....	122

Figura 4.10. Configuración PAN ID del coordinador en X-CTU.....	124
Figura 4.11. Configuración de la dirección destino alta (DH) del coordinador en X-CTU.....	125
Figura 4.12. Configuración de la dirección destino baja (DL) del coordinador en X-CTU.....	125
Figura 4.13. Configuración velocidad de transmisión (BD) del coordinador en X-CTU.....	126
Figura 4.14. Configuración nombre identificador (NI) del coordinador en X-CTU.....	126
Figura 4.15. Configuración del PAN ID (ID) del router en X-CTU.....	127
Figura 4.16. Configuración de la dirección destino alta (DH) del router en X-CTU.....	128
Figura 4.17. Configuración de la dirección destino baja (DH) del router en X-CTU.....	128
Figura 4.18. Configuración de la velocidad de transmisión (DH) del router en X-CTU.....	129
Figura 4.19. Configuración nombre identificador (NI) del router en X-CTU.....	129
Figura 4.20. Configuración del PAN ID (ID) del dispositivo final en X-CTU.....	130
Figura 4.21. Configuración de la dirección destino alta (DH) del dispositivo final en X-CTU.....	131
Figura 4.22. Configuración de la dirección destino baja (DL) del dispositivo final en X-CTU.....	131
Figura 4.23. Configuración de la velocidad de transmisión (BO) del dispositivo final en X-CTU.....	132

Figura 4.24. Configuración del nombre identificador (NI) del dispositivo final en X-CTU.....	132
Figura 4.25. Red de sensores inalámbrica en modo de trabajo en red, en X-CTU.....	134
Figura 4.26. Test de Rango entre Coordinador y Router a 5 metros en X-CTU.....	135
Figura 4.27. Test de Rango entre Coordinador y Router a 50 metros en X-CTU.....	136
Figura 4.28. Test de Rango entre Coordinador y Dispositivo final a 20 metros en X-CTU.....	137
Figura 4.29. Test de Rango entre Coordinador y Dispositivo final a 80 metros en X-CTU.....	138
Figura 4.30. Modo Sueño Dispositivo final.....	139
Figura 4.31. Planta de Tratamiento de Agua San Pedro - Proyecto Culebrillas.....	139
Figura 4.32. Tanques de almacenamiento y DAFII de la planta de tratamiento de agua San Pedro.....	140
Figura 4.33. Medición de Turbiedad en LabVIEW, tanque DAFII.....	141
Figura 4.34. Medición de Temperatura en LabVIEW, tanque DAFII.....	141
Figura 4.35. Medición de Conductividad en LabVIEW, tanque DAFII.....	142
Figura 4.36. Medición de Turbiedad en LabVIEW, tanque de Almacenamiento.....	142
Figura 4.37. Medición de Temperatura en LabVIEW, tanque de Almacenamiento.....	143
Figura 4.38. Medición de Conductividad en LabVIEW, tanque de Almacenamiento.....	143
Figura 4.39. Mediciones de parámetros del agua, laguna Toreadora.....	144
Figura 4.40. Medición de Conductividad en LabVIEW, laguna Toreadora.....	144
Figura 4.41. Medición de Turbiedad en LabVIEW, laguna Toreadora.....	145

Figura 4.42. Medición de Temperatura en LabVIEW, laguna Toreadora.....	145
Figura 4.43. Medición del nivel de Voltaje de la batería en LabVIEW, laguna Toreadora.....	146
Figura 4.44. Pruebas de campo del control de carga de la batería a plena luz.....	147
Figura 4.45. Medición del nivel de Voltaje, batería cargándose, pruebas de campo....	148
Figura 4.46. Medición del nivel de Voltaje, batería cargada, pruebas de campo.....	148

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Características Arduino Mega 2560.....	45
Tabla 3.2. Características eléctricas del motor brushless.....	53
Tabla 3.3. Pines del LCD compatible HD44780.....	55
Tabla 3.4. Secuencia del integrado L298.....	64
Tabla 3.5. Giro de los motores.....	85
Tabla 4.1. Resultados y mediciones.....	146

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Diseño virtual de la estructura del módulo explorador en AutoCAD 2012.....	156
ANEXO 2: Tabla de comparación entre ZigBee, Bluetooth y WiFi.....	159
ANEXO 3: Tabla de comparación entre módulo XBee regular y XBee Pro, Series 2.....	160
ANEXO 4: ANEXO 4: Diseño mecánico de los pines de señal para los módulos XBee PRegular y XBee Pro S2.....	161
ANEXO 5: Características Eléctricas de los módulos XBee Pro S2.....	163
ANEXO 6: Diagrama de Bloques de la Interfaz Gráfica en LabVIEW.....	164
ANEXO 7: Código Módulo Router.....	165
ANEXO 8: Código Módulo Móvil.....	170
ANEXO 9: Consumo de Potencia del Proyecto.....	184

Galindo Toapanta David Leonardo

Sánchez Ortíz César Paúl

Trabajo de Graduación

Ing. Daniel Esteban Iturralde Piedra

Octubre, 2015

**RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA MONITOREO DE
PARÁMETROS HIDROLÓGICOS APLICADO EN LAGUNAS, ESTANQUES
Y PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA.**

INTRODUCCIÓN

El trabajo presentado pretende dar a conocer a la sociedad las nuevas tecnologías en información, transmisión inalámbrica de datos y monitoreo de variables en entornos hidrológicos como: ríos, lagos, estanques, piscinas, etc.; brindando soluciones acordes a los problemas presentes en dichos entornos.

Puesto que sobre el agua es difícil realizar el tendido de cables ó líneas de transmisión de datos, se pretende demostrar la gran ayuda que conlleva implementar enlaces de comunicación inalámbrica. Actualmente son necesarios sistemas escalables donde la red ya está formada y solo se tiene que agregar más nodos y sensores en caso de ampliar cobertura en un área determinada por ejemplo una laguna o piscina, siendo el sistema propuesto el idóneo para este propósito.

Dentro del trabajo, se diseña una red sensores inalámbricos, misma que consta de:

- Un nodo coordinador que es el encargado de administrar la red.
- Un nodo router o repetidor, el cual sirve para aumentar la cobertura o la calidad del enlace de comunicación.
- Un nodo final el cual se encuentra dentro un módulo móvil acuático, que contiene los sensores de temperatura, conductividad y turbiedad del agua. Adicionalmente se implementa un panel solar con el propósito de que el módulo móvil sea autosustentable.

La comunicación está basada en el estándar 802.15.4 (ZigBee) que es un protocolo de paquetes de datos para redes inalámbricas ligeras, es decir con baja tasa de transferencia de información.

CAPÍTULO I.

ANÁLISIS SOBRE LAS REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS.

En el presente capítulo se detalla la problemática, los antecedentes y objetivos del trabajo a realizar. Así mismo se describirán los fundamentos teóricos y conceptos de las redes de sensores inalámbricos, sus ventajas al emplear una comunicación inalámbrica, las topologías de comunicación y un análisis enfocado a la tecnología necesaria para realizar la medición de parámetros del agua, y transmisión de datos mediante comunicación inalámbrica, para con ello determinar el modelo de la red de sensores inalámbricos que se implementara. Además de esto se realizará un breve estudio sobre el Protocolo IEEE 802.15.4 ZIGBEE.

1.1. Red de Sensores Inalámbricos (WSN).

Las Redes de sensores inalámbricos (WSNs) están teniendo un gran interés en una serie de aplicaciones, al ser una red que se ocupa de la vigilancia y el control de los fenómenos físicos, ya que permite despliegues densos y sin ataduras a bajo costo y con flexibilidad sin precedentes (MOTTOLA, 2007).

Las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) son sistemas típicamente compuestos por dispositivos integrados, cada uno equipado con una unidad de procesamiento, una interfaz de comunicación inalámbrica, sensores y/o actuadores, a este conjunto de dispositivos también se le conoce como nodos de comunicación. Permitiendo que exista un procesamiento y comunicación dentro del mundo físico, siendo de bajo costo, a más de la interacción con el medio ambiente (MOTTOLA, 2007).

Cuando muchos sensores monitorean conjuntamente grandes entornos físicos, forman una red de sensores inalámbricos.

Los nodos de sensores no solo se comunican entre sí, sino también con una estación base (BS), la que les permite difundir datos de los sensores para un procesamiento remoto, visualización, análisis y almacenamiento de los sistemas. (POELLABAUER, 2010).

1.1.1. Características de la (WSN).

Aunque los avances de hardware juegan un papel importante en WSN, el poder de esta tecnología puede ser aprovechada plenamente sólo si las plataformas de software adecuadas están disponibles para los desarrolladores de aplicaciones. Sin embargo, de las varias experiencias reportadas en la literatura donde se han implementado aplicaciones WSN en el mundo real, sólo unas pocas excepciones se basan en algún soporte de programación de alto nivel.

En las redes ad hoc¹, los nodos inalámbricos pueden auto-organizarse como una red de infraestructura con topología dinámica.

Las redes de sensores (ver Figura 1.1.) comparten estos rasgos, pero también tienen varias características distintivas. El número de nodos en una red de sensores típico es mucho mayor que en una red típica ad hoc, y se realizan despliegues densos a menudo para asegurar la cobertura y la conectividad. Por estas razones, el hardware de red del sensor debe ser barato. Los nodos suelen tener limitaciones estrictas de energía, lo que los hacen más propensos al fracaso. Se supone generalmente que sean estacionarios, pero sus fallos relativamente frecuentes y la naturaleza volátil del canal inalámbrico resultan en una topología de red variable. Lo ideal sería que el hardware de red de sensores sea, pequeño, barato y fiable de bajo consumo con el fin de maximizar la vida de la red, añadir flexibilidad, facilitar la recogida de datos y minimizar la necesidad de mantenimiento (WICKER & Goldsmith, 2002).

¹ Una red móvil ad hoc es un grupo de nodos o dispositivos móviles, inalámbricos, que cooperativamente forman una red sin el apoyo de una infraestructura centralizada. La red puede funcionar de forma independiente de cualquier estación base o punto de acceso de infraestructura.

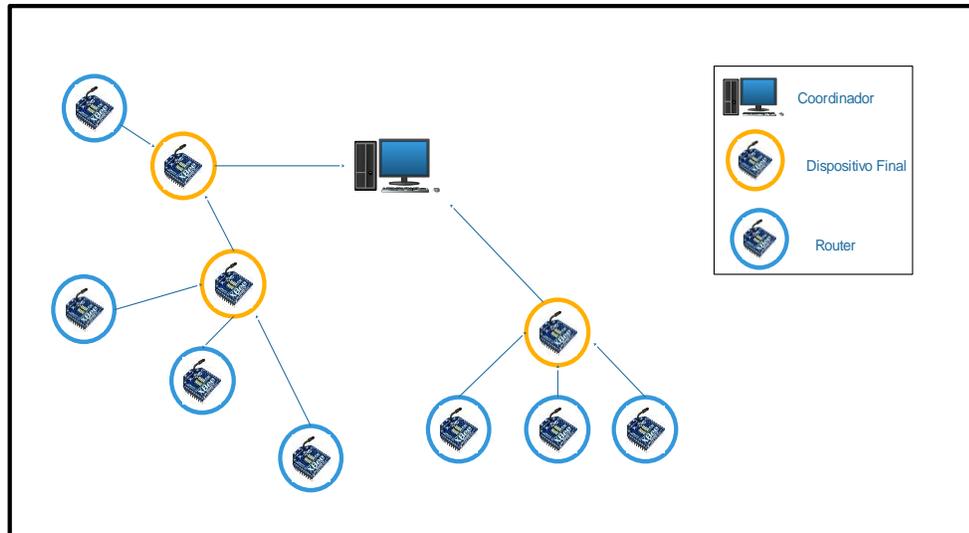


Figura 1.1. Infraestructura externa nodos sensores.

Fuente: (WICKER & Goldsmith, 2002).

1.1.2. Nodo Sensor.

Los nodos sensores son dispositivos pequeños y distribuidos, capaces de realizar procesamiento local y comunicación inalámbrica, cada nodo sensor es capaz de consumir una cantidad limitada de energía en el procesamiento y enrutamiento de datos. Por lo tanto, una red de sensores puede ser descrita como una colección de nodos de sensores que se coordinan para realizar alguna acción específica. Se requiere múltiples nodos de sensores para superar inconvenientes como obstrucciones, la línea de vista, la distancia, etc. En la Figura 1.2., se presenta el esquema básico de un nodo sensor, destacando sus componentes principales: Fuente de alimentación, ADC, Transceptor de RF, Unidad de procesamiento y Unidad de almacenamiento. (PONDURU, s.a.)

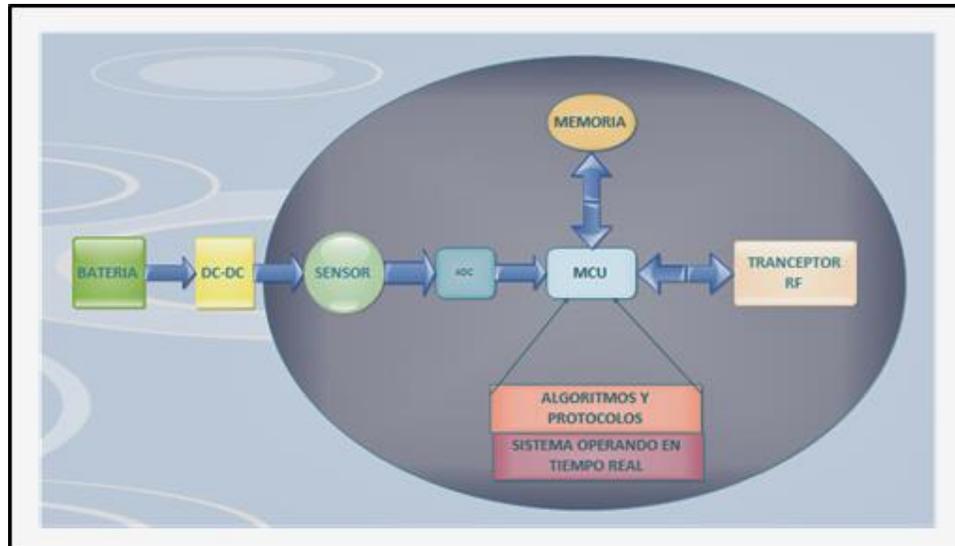


Figura 1.2. Arquitectura del sistema, nodo sensor inalámbrico típico.

Fuente: (PONDURU, s.a.).

1.1.3. Diseño de una Red de Sensores.

Un diseño de redes de sensores está influenciada por muchos factores, que incluyen la tolerancia a fallos, escalabilidad, costes de producción, entorno operativo, topología de la red, limitaciones de hardware, transmisión, medios de comunicación, y consumo de energía. Estos factores son importantes porque sirven como una directriz para diseñar un protocolo o un algoritmo para redes de sensores. Además, estos factores pueden ser utilizados para comparar los distintos regímenes.

La mayoría de las técnicas de encaminamiento de redes de sensores y las tareas de detección requieren el conocimiento de la localización con alta precisión. Por lo tanto, es común que un nodo sensor disponga de un sistema de localización.

Un actuador a veces puede ser necesario para mover el nodo sensor cuando se requiere llevar a cabo tareas asignadas. Aparte del tamaño, también existen algunas otras limitaciones estrictas para los nodos sensores. Estos nodos deben poseer: (KAHN, Katz, & Pister, 1999).

- Consumo energía extremadamente bajo.
- Operar en densidades volumétricas altos.
- Tener bajo costo de producción y ser prescindible.
- Ser autónomo y operar sin supervisión.
- Ser adaptable para el medio ambiente.

Es posible extender la vida útil de la red de sensores de mediante la captación de energía (RABAEY, Ammer, Da silva Jr., & Patel, 2000), lo que significa la extracción de energía desde el medio ambiente. Las células o paneles solares son un ejemplo para las técnicas utilizadas para captación de energía.

1.1.4. Aplicaciones con (WSN).

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) han inspirado a muchas aplicaciones, que han simplificado o mejorado la vida del ser humano.

Las posibles aplicaciones de redes de sensores se presentan en diversos campos. El monitoreo ambiental, la guerra, la educación infantil, la vigilancia, la micro-cirugía, y la agricultura son sólo algunos ejemplos (HAENGGI, 2004). A través de los esfuerzos conjuntos de la Universidad de California en Berkeley y la Universidad del Atlántico, la vigilancia ambiental se lleva a cabo en la costa de Maine en la Isla Pato Grande por medio de una red de nodos Berkeley equipados con varios sensores (HILL, 2003). Los nodos envían sus datos a una estación base que se conecta a Internet. Dado que el control del hábitat es muy sensible a la presencia humana, el despliegue de una red de sensores proporciona un método no invasivo y un notable grado de abarcabilidad en la adquisición de datos. La misma idea que hay detrás del proyecto Vainas de la Universidad de Hawái en Manoa (BRIDGES & Biagioni, 2002), donde los datos ambientales (temperatura del aire, la luz, el viento, la humedad relativa y precipitaciones) se reunieron por una red de sensores meteorológicos integrados en las unidades de comunicación desplegados en la zona de la grieta del Sur-Oeste en el Parque Nacional de los Volcanes en la Isla Grande de Hawái. Una de las principales preocupaciones de los investigadores fue en este caso el camuflaje de los sensores para hacerlos invisibles a los turistas curiosos.

En el Proyecto ZebraNet de Princeton (JUANG, y otros, 2002), una red de sensores dinámica ha sido creada uniendo collares especiales equipados con un sistema de GPS de baja potencia para los cuellos de cebras para monitorear sus movimientos y su comportamiento. Dado que la red está diseñada para funcionar en un entorno independiente de las infraestructuras punto-a-punto, grupos de información se utilizan para producir las bases de datos redundantes para que los investigadores sólo tengan que encontrar algunas cebras con el fin de recoger los datos. Las redes de sensores también pueden ser utilizadas para monitorear y estudiar los fenómenos naturales que intrínsecamente desalientan la presencia humana, como los huracanes y los incendios forestales.

Los esfuerzos conjuntos entre la Universidad de Harvard, la Universidad de New Hampshire, y la Universidad de Carolina del Norte han llevado recientemente al despliegue de una red inalámbrica de sensores para monitorear erupciones en el Volcán Tungurahua, un volcán activo en el centro de Ecuador. Una red de Berkeley monitoriza señales infrasónicas durante las erupciones, y los datos se transmiten a través de un enlace inalámbrico de 9 kilómetros a una estación base en el observatorio de volcanes (WERNER, Johnson, Ruiz, Lees, & Welsh, 2005).

La diversidad de aplicaciones en los últimos años es notable y la incursión en distintas áreas cada vez va en aumento. En resumen las principales aplicaciones en una red de sensores inalámbricos son:

- Vigilancia del medio ambiente.
- Seguimiento de objetivos.
- Monitoreo de tuberías (agua, petróleo, gas).
- Vigilancia de viviendas, agricultura de precisión.
- Atención de la salud.
- Vigilancia volcánica activa.
- El transporte.
- La monitorización de la actividad humana. (POELLABAUER, 2010)

1.2. Redes IEEE 802.15.4.

El protocolo IEEE 802.15.4 está pensado para la telemetría con baja velocidad de datos, batería de larga duración y bajo costo.

La ZigBee Alliance² está desarrollando protocolos de alto nivel que se ejecutarán sobre las capas MAC y PHY 802.15.4 que operan en bandas sin licencia en todo el mundo.

Las velocidades de datos pueden ser de:

- 250 Kbps pueden lograrse a 2,4 GHz (16 canales)
- 40 Kbps a 915 MHz (10 canales)
- 20 Kbps a 868 MHz (1 canal).

Se espera que la distancia este en el rango de 10m a 125 m, en función de la potencia y del medio ambiente. La capa de red ZigBee soporta múltiples topologías de red, incluidos estrella, árbol, y la malla. En una topología de malla, un nodo especial llamado coordinador es responsable de iniciar la red y para la elección de los parámetros de ruteo de la red. El algoritmo de enrutamiento utiliza un protocolo de petición-respuesta.

1.3. Red de Sensores Inalámbricos Usando ZigBee.

La red de sensores inalámbricos es una tecnología para una amplia gama de entornos. Está basada en baja potencia, baja velocidad de datos, bajo coste de la red de área personal. La ZigBee Alliance ha desarrollado sistemas de muy bajo costo, muy bajo consumo de energía, trabajando en la capa de red y aplicación.

El comité IEEE 802.15.4 comenzó a trabajar en un estándar de baja velocidad de datos un poco más tarde para su desarrollo físico y de la sub Capa MAC. Entonces la ZigBee Alliance y el IEEE decidieron unir sus fuerzas y se creó ZigBee.

² ZigBee Alliance es una asociación de aproximadamente 400 miembros desarrolladores de normas ZigBee. La Alianza promueve la adopción mundial de ZigBee como el estándar de red inalámbrica.

ZigBee puede implementar redes más grandes de lo que es posible con Bluetooth. Dispositivos inalámbricos compatibles con ZigBee pueden operar en el RF sin licencia en todo el mundo a (2,4 GHz global, 915MHz Américas o 868 MHz Europa). La velocidad de datos es 250kbps a 2.4GHz, 915MHz a 40kbps y 20kbps a 868MHz (CUOMO, 2011).

1.3.1. Protocolo ZigBee.

ZigBee es un estándar IEEE que está destinado a reglamentar el desarrollo de redes personales inalámbricas (WPANs). (CAPRÍL, 2010).

El estándar ZigBee o IEEE 802.15.4 es el encargado de establecer una comunicación confiable mediante un enlace de radiofrecuencia, permitiendo la interconexión de varios dispositivos a la vez. Se utiliza en aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa transmisión de datos, alcanzando grandes distancias y por el bajo consumo de potencia incrementan la vida útil de sus baterías. (CAPRÍL, 2010).

1.3.2. Características de ZigBee.

El enfoque de las aplicaciones de red bajo el estándar 802.15.4 / ZigBee IEEE incluyen las características de bajo consumo de energía, necesarias para los dos principales modos (Tx/Rx o Sleep), de alta densidad de nodos por red, los bajos costos y la simple implementación.

Estas funciones están habilitadas por las siguientes características:

- 2,4 GHz y los modos PHY dual 868/915 MHz. Esto representa tres bandas libres de licencia: 2,4 a 2,4835 GHz, 868-870 MHz y 902-928 MHz. El número de canales asignados a cada banda de frecuencia se fija en dieciséis (números 11-26), respectivamente.
- Bajo consumo de energía, la duración de la batería varía de meses a años. En el estándar ZigBee, la duración de la batería puede ser optimizada realizando métodos de enrutamiento adecuados ó ajustando los módulos en modo de configuración reposo (Sleep).

- La velocidad máxima de datos permitidos para cada una de estas bandas de frecuencias se fijan como: 250 kbps en 2,4 GHz, 40 kbps en 915 MHz y 20 kbps en 868 MHz.
- Alto rendimiento y baja latencia para aplicaciones de bajo ciclo de trabajo (<0.1%).
- Acceso al canal usando *Carrier Sense Multiple Access* con prevención de colisiones (CSMA - CA).
- Alojamiento de 16 bits a 64 bits de dirección extendida. , 65.535 redes.
- Diferentes topologías como: estrella, punto a punto, malla.
- Barato y de fácil instalación.
- Redes flexibles y extensibles.
- Inteligencia integrada para red puesta a punto y enrutamiento de mensajes. (RIAZ, 2005)

1.3.3. Arquitectura ZigBee.

La arquitectura de nodo se define en un número de bloques estructurales llamadas capas. En la Figura 1.3., cada capa implementa un subconjunto del estándar LR-WPAN, también ofertan servicios a las capas superiores, y obtienen servicios de sus capas menores. La arquitectura de capas de cada nodo de red comprende: Capa Física (PHY) y la capa de Control de Acceso Medio (MAC) con sus respectivas subcapas.

Por encima de estas capas, se encuentra la subcapa de convergencia (SSCS) que interconecta la subcapa MAC con la subcapa de control de enlace lógico y otras capas superiores tales como la capa de red que proporciona la configuración de red, el enrutamiento de mensajes, y la capa de aplicación que proporciona la función prevista del dispositivo. La capa física de IEEE 802.15.4 está a cargo de las siguientes tareas:

- La activación y desactivación del transceptor de radio.
- Detección de energía (ED).
- Indicador de la calidad de Link (ICT).
- Limpieza Asistida de Canal (CCA *Clear Channel Assessment*).
- Selección de Canal de Frecuencia.

El IEEE 802.15.4 ofrece tres bandas de frecuencia operables:

- GHz (todo el mundo), 915 MHz (América del Norte) y 868 MHz (Europa).
- Hay un solo canal entre 868 y 868,6 MHz (20 kbit/s), 10 canales entre 902 y 928 MHz (40 kbit / s), y 16 canales entre 2,4 y 2,4835 (250kbit / s).

El protocolo también permite la selección dinámica de canales, una función de búsqueda de canales, la detección de energía del receptor, la vinculación de un indicador de calidad y la conmutación de canal (ver Figura 1.4.).

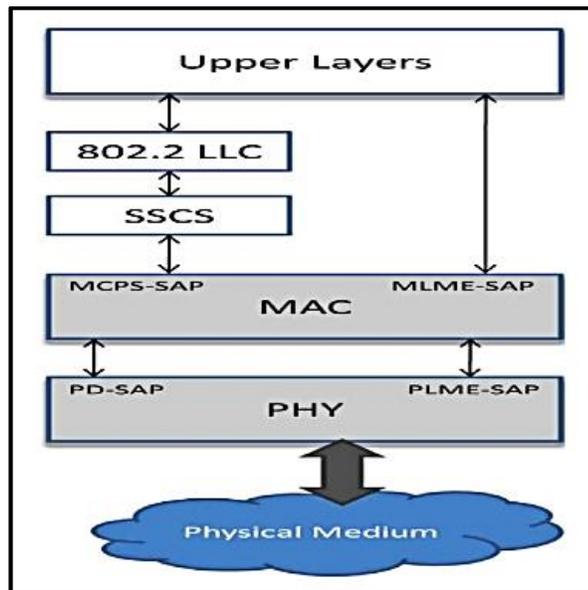


Figura 1.3. Arquitectura de nodo LR-WPAN.

Fuente: (PATEL, Hiren, & Arjav, 2013).

La subcapa MAC ofrece dos servicios: el servicio de datos MAC y el servicio de gestión MAC mediante la interfaz de la subcapa MLME-SAP (Entidad de Gestión MLME) (Punto de Acceso al Servicio SAP). El servicio de datos MAC permite la transmisión y recepción de unidades de datos del protocolo MAC (MPDU) a través del servicio de datos PHY. (PATEL, Hiren, & Arjav, 2013).

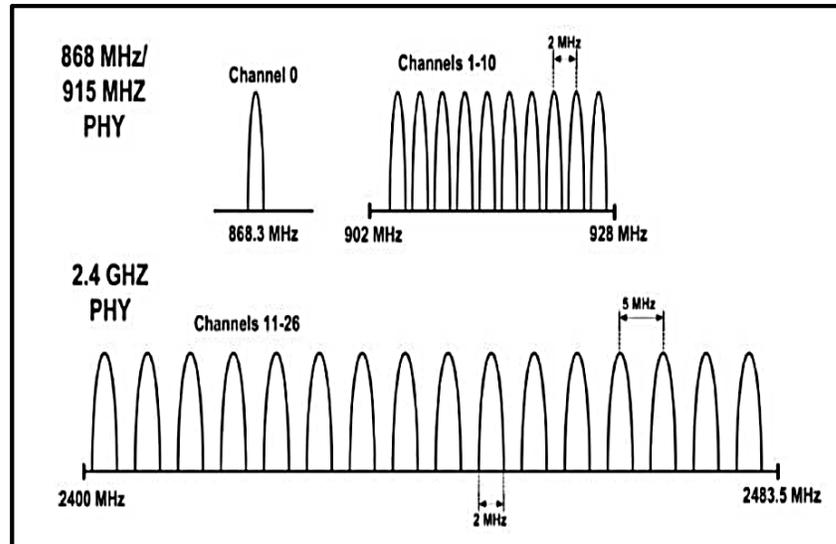


Figura 1.4. Bandas de frecuencia y asignación de Canales.

Fuente: (PATEL, Hiren, & Arjav, 2013).

1.3.4. Topologías de comunicación ZigBee.

Las redes ZigBee pueden conectarse junto a varios diseños o topologías diferentes para dar estructura a la red. Estas topologías indican cómo los radios están conectados lógicamente entre sí. Su disposición física, por supuesto, puede ser diferente. Hay cuatro principales topologías ZigBee, ilustrados en la Figura 1.5.

Los datos se enrutan de un nodo de red a otro y depende de la topología de la red, una red ZigBee puede adoptar una de las cuatro topologías: Punto a Punto, Estrella, Árbol y Mesh.

1.3.4.1. Topología punto a punto.

Es la red más simple, cuenta con sólo dos radios, o nodos. Un nodo debe ser un coordinador, de manera que se pueda formar la red. El otro puede ser configurado como un router o un dispositivo final. (O'REILLY, 2010).

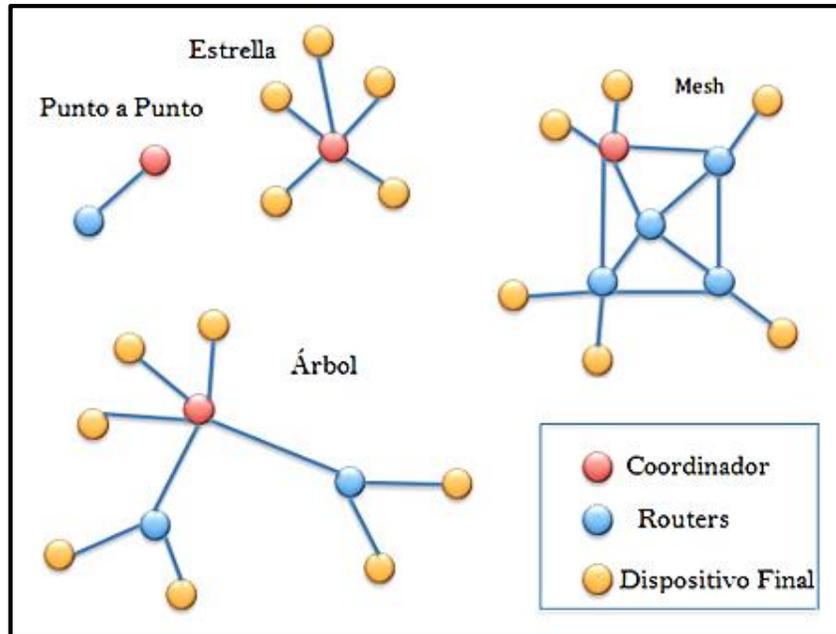


Figura 1.5. Topologías ZigBee.

Fuente: (O'REILLY, 2010).

1.3.4.2. Topología en estrella.

Esta disposición de red también es bastante simple. Un coordinador de radio se encuentra en el centro de la topología en estrella y se conecta a un círculo de dispositivos finales. Cada mensaje en el sistema debe pasar a través de la radio coordinador, por lo que las rutas son necesarias entre dispositivos. Los dispositivos finales no se comunican directamente entre sí.

1.3.4.3. Topología en Árbol.

Se trata de un diseño de red, donde los routers forman una columna vertebral de todo tipo, con dispositivos de finales agrupados alrededor de cada router (véase la Figura 1.6.). La topología árbol puede ser una sola red de grupos o una red multigrupos, cada grupo contiene una cabeza o nodo padre, y a su vez cada grupo forma una topología estrella donde todos los miembros de este grupo se comunican entre sí, a través de la cabeza o nodo padre.

Si se desea comunicar entre nodos de diferentes grupos, estos lo hacen a través de la cabeza principal de todo el racimo de grupos.

En la Figura 1.6 se ilustra la topología árbol-clúster que tiene una arquitectura jerárquica con los nodos finales en nivel inferior y la red de cabezas clústers en nivel superior.

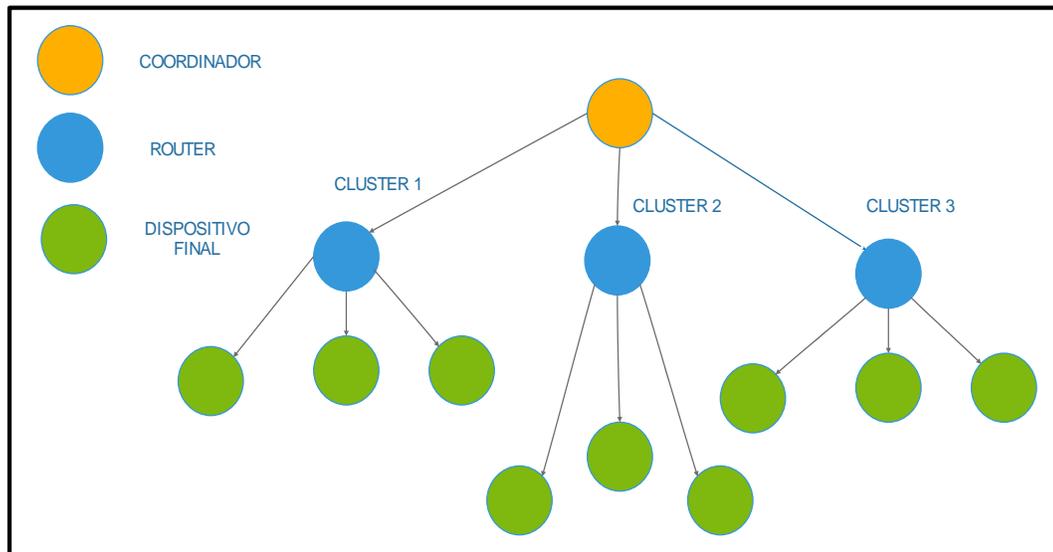


Figura 1.6. Topología Árbol.

Fuente: (O'REILLY, 2010).

En la Figura 1.7., se ve un ejemplo de numeración de direcciones para topología árbol (FARAHANI, 2008). Lo interesante es que cada ruteador sabe cómo encaminar cada mensaje hacia un destino "z", comparando su propia dirección, con la del destino. Esto elimina el problema de ruteo.

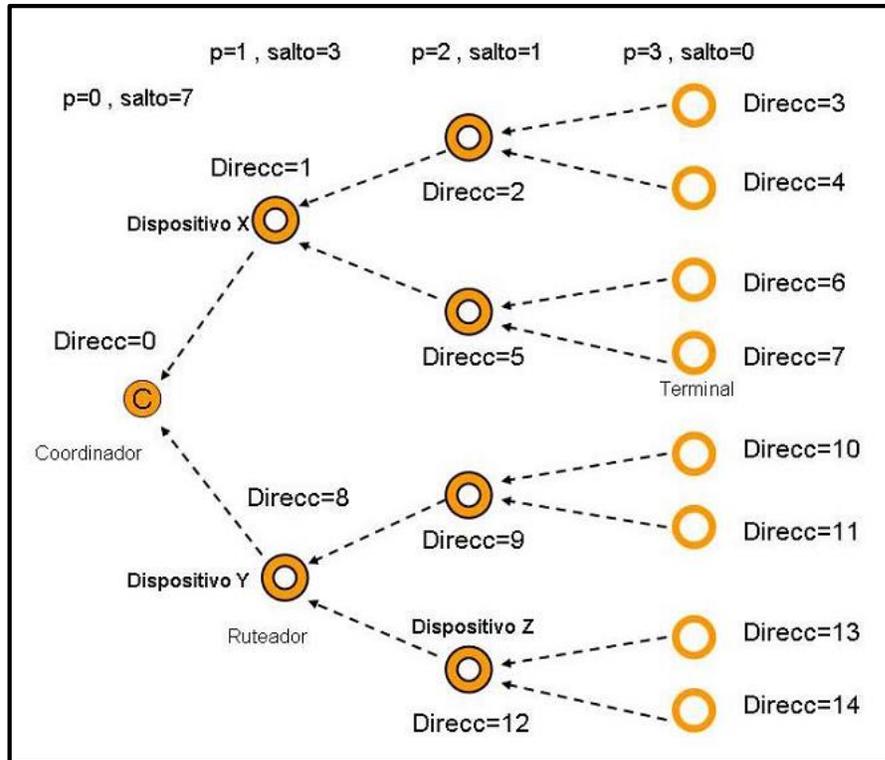


Figura 1.7. Asignación de direcciones por defecto en topología árbol.

Fuente: (FARAHANI, 2008).

En la Figura 1.7., “p” representa la profundidad en la que se encuentra ubicado el nodo dentro del árbol y salto (d) representa el corrimiento que tendrán entre sí los hijos de un nodo padre.

Por ejemplo, el dispositivo X tiene dirección 1, por lo tanto el dispositivo Y tendrá dirección $\text{Direc Y} = \text{Direc X} + \text{salto (0)} = 1 + 7 = 8$

1.3.4.4. Topología en malla (mesh).

La configuración de malla emplea nodos router además de los radios coordinadores. Estas radios pueden pasar mensajes junto a otros routers y dispositivos finales como sea necesario.

El coordinador (en realidad una forma especial de router) actúa para gestionar la red, también puede enrutar los mensajes. Varios dispositivos finales se pueden unir a cualquier router o al coordinador, pudiendo generar y recibir información, pero necesitarán ayuda de sus padres para comunicarse con los otros nodos. (O'REILLY, 2010).

Las redes malla son una forma poderosa de enrutar datos. Para que se pueda extender el alcance, los datos saltan de un nodo a otro y la fiabilidad se incrementa en "auto curación", que es la capacidad de crear caminos alternativos cuando un nodo falla o pierde la conexión.

1.3.5. Elementos de Una Red ZigBee.

Una red ZigBee está formada básicamente por 3 tipos de elementos. Un único dispositivo Coordinador, dispositivos Routers y dispositivos Finales (End Devices).

1.3.5.1. Coordinador.

Las redes ZigBee siempre tienen un solo dispositivo coordinador. Esta radio es responsable de la formación de la red, la entrega de direcciones, y la gestión de funciones que definen, aseguran, y mantienen la red en un estado óptimo. Cada red debe estar formada por un coordinador y nunca puede tener más de uno.

1.3.5.2. Router.

Un Router es un nodo con todas las características de ZigBee, puede unirse a las redes existentes, además de enviar, recibir y rutear la información. Router proviene de "Routing" que significa actuar como un mensajero para las comunicaciones entre otros dispositivos que están demasiado separadas para transmitir información por su cuenta. Los routers suelen conectarse a una toma de corriente eléctrica o una batería, ya que deben estar encendidos todo el tiempo. Una red puede tener múltiples radios router.

1.3.5.3. Dispositivo Final.

Hay muchas situaciones en las que el hardware y la potencia a tiempo completo de un router son excesivos para lo que tiene que hacer un nodo de radio en particular. Los dispositivos finales son versiones de un router esencialmente despojados. Pueden unirse a las redes, enviar y recibir información, pero solo eso. No actúan como mensajeros entre otros dispositivos. Estos dispositivos pueden utilizar hardware menos costoso y bajar el consumo de potencia por si mismos de forma intermitente, ahorrando energía temporalmente en un modo de espera sin respuesta (modo sleep). Los dispositivos finales siempre necesitan de un router o el coordinador que será su dispositivo principal (Padre). El padre ayuda a los dispositivos finales uniéndolos a la red, y almacena los mensajes para cuando ellos estén dormidos. Las redes ZigBee pueden tener cualquier número de dispositivos finales. De hecho, una red puede estar compuesta por un coordinador, múltiples dispositivos finales, y puede o no contener routers en lo absoluto. (O'REILLY, 2010)

1.3.6. Direccionamiento en ZigBee.

El direccionamiento es un punto clave en ZigBee, pues permite conocer las direcciones destino de los mensajes y así poder establecer una correcta comunicación.

A continuación se detalla los tipos de direccionamiento ZigBee:

1.3.6.1. Direccionamiento Básico.

Casi todas las personas tienen al menos una dirección a la cual se puede acceder, por lo general esta es única. Cada tipo de dirección o identificador tiene un propósito ligeramente diferente. Lo mismo pasa con los radios. Si desea enviar un mensaje ZigBee, lo que se necesita saber es la dirección de la radio destino.

Cada radio tiene un número de serie único y asignado de manera permanente de 64-bits, ningún otro de radio ZigBee en la tierra tendrá el mismo número de serie.

Luego hay una dirección de 16 bits más corta, que se asigna dinámicamente a cada radio por el coordinador cuando se establece una red. Esta dirección es única, solamente para una red dada, pero ya que es más corta, muchas de estas pueden ser manipuladas en una muy limitada memoria disponible en un chip ZigBee. Finalmente, a cada radio XBee se le puede asignar una cadena corta de texto llamado el identificador de nodo. Esto permite que la radio sea direccionada con un nombre más amigable de usar.

1.3.6.2. Direcciones PAN.

Todos los dispositivos que conforman una red de sensores inalámbricos deben tener la misma PAN ID, pues esta es una dirección utilizada para Redes de Área Personal (Personal Area Networks). Es una dirección de 16 bits. Hay 65.536 direcciones PAN diferentes disponibles, cada una con la capacidad de generar otros 65.536 direcciones de radio de 16 bits por debajo de ella. Por lo tanto, este esquema de direccionamiento tiene espacio para más de 4 mil millones de radios en total.

La generación de la dirección de red de 16 bits de cada dispositivo es responsabilidad del dispositivo coordinador cuando inicia la red.

1.3.6.3. Canales

Un canal determina la frecuencia de transmisión, cuando el coordinador ZigBee obtiene una dirección de red PAN, comprueba también todos los canales disponibles, recogiendo la información de uno solamente, estos canales típicamente son 12. Todos los radios de la red deben utilizar el mismo canal. Por defecto, las radios XBee manejan la selección de canales de forma automática por lo que normalmente no es necesario preocuparse por esto.

1.3.6.4. Enlace y Comunicación (*All Together Now*)

Para conseguir que un mensaje atraviese de una radio a otra, las radios necesitan estar en el mismo canal y tener la misma información del PAN, y la radio estación debe conocer al menos una de las direcciones de la radio receptora (véase la Figura 1.8.). Por lo tanto, se necesita una dirección PAN y una dirección de radio remota para conseguir que la información sea transmitida de un nodo a otro. (O'REILLY, 2010)

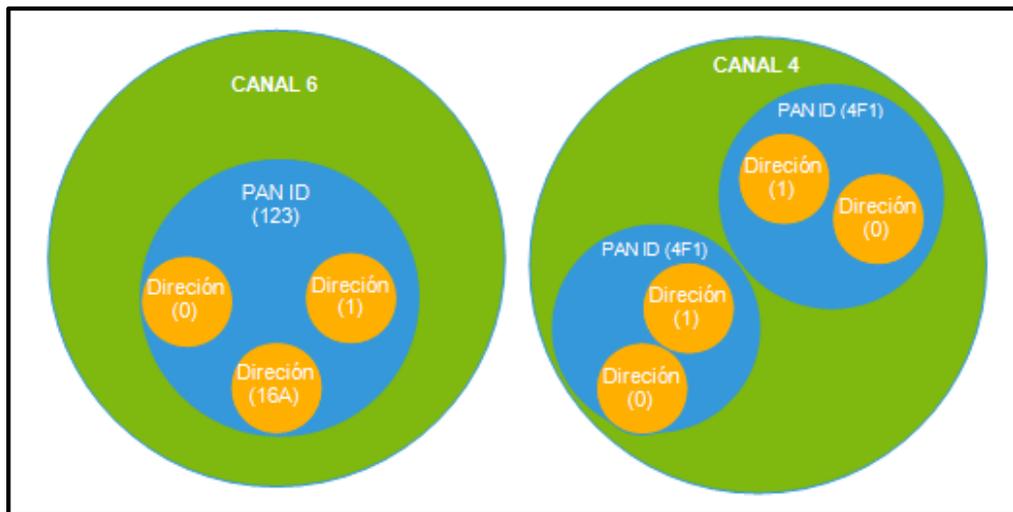


Figura 1.8. Diagrama de Venn, canal PAN y su direccionamiento.

Fuente: (O'REILLY, 2010).

CAPÍTULO II.

ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS SENSORES DEL SISTEMA.

En el presente capítulo se realiza una introducción a los conceptos fundamentales de los parámetros físicos que determinan la calidad del agua. Además de analizar conceptos básicos sobre señales y sensores, es necesario realizar un breve estudio sobre las variables a ser medidas, para con ello posteriormente proceder al diseño, acondicionamiento, simulación y construcción de los sensores del sistema.

2.1. Parámetros Físicos del Agua.

Tanto en aguas residuales como superficiales existe una serie de parámetros físico-químicos indispensables que permiten un análisis y una medición de la calidad del agua, dichos parámetros permiten determinar su potabilización, tratamiento de depuración, etc., por medio de métodos estándar. (JIMÉNEZ & Aznar, 1997). En este trabajo se detallan únicamente ciertos parámetros físicos, necesarios para la determinación de la calidad del agua. En la Figura 2.1., se presenta el esquema de adquisición de señales para el presente trabajo, para ello se ha visto conveniente la utilización de un microcontrolador PIC 18F4550, debido a su gran cantidad de entradas analógicas para la adquisición de datos de los sensores, y a la vez periféricos de comunicación de datos, así mismo permite la comunicación entre los sensores y los radios XBee., encargados de realizar la comunicación inalámbrica.

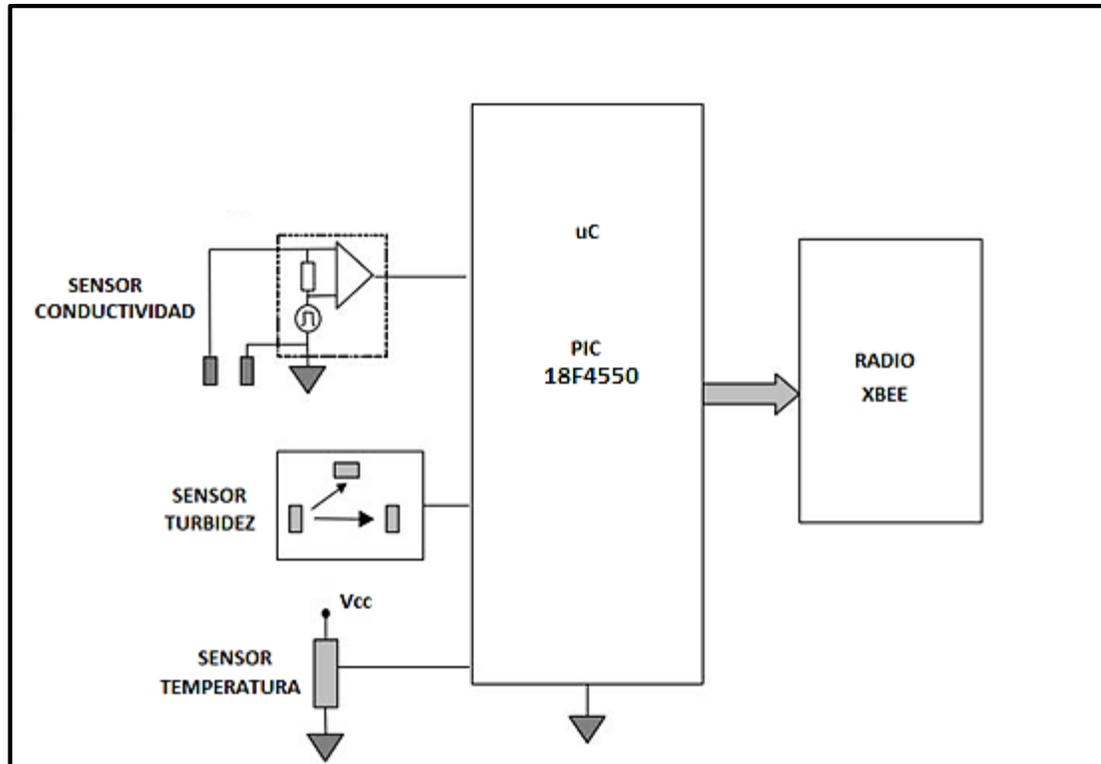


Figura 2.1. Esquema sensorial de parámetros físicos del agua.

2.1.1. Antecedentes.

Determinar la calidad del agua es muy importante en ciertos entornos, ya sea donde exista vida o donde se realicen determinados procesos, por lo que es importante saber cuál es el estado del agua en lugares como: estanques, ríos lagunas plantas de tratamiento de agua. Existen sistemas que realizan análisis de aguas, pero estos no trabajan en tiempo real y mucho menos a tiempo completo. Por lo que no se puede tener un monitoreo continuo de estos entornos.

La principal desventaja cuando se desea medir parámetros físicos del agua, como por ejemplo en un estanque, una laguna, o una planta de tratamiento, es la de acceder o trasladarse a través de la misma, por lo que no se puede determinar los parámetros en todas las áreas, salvo algunos casos donde la medición se la realiza solo en los afluentes, quedando gran parte del entorno sin monitoreo.

Es necesario un sistema que permita el monitoreo a distancia de variables como son: turbiedad, conductividad, salinidad, y temperatura en una laguna, planta de tratamiento o estanque ya que estos son los parámetros físicos más importantes cuando se desea monitorear este tipo de entornos.

Al ser necesario un monitoreo en tiempo real, quedan obsoletos algunos sistemas, los cuales censan parámetros físicos del agua, pero estos son almacenados en una tarjeta de memoria para luego ser llevados a una estación y observarlos, por lo que este tipo de trabajo presenta ineficiencia.

2.1.2. Propuesta.

Se pretende diseñar un sistema sensorial de parámetros físicos del agua, siendo los más importantes: turbiedad, temperatura conductividad y salinidad del agua. Para ello se realizará estudios, cálculos y simulaciones para determinar los circuitos de medición más apropiados, teniendo como objetivo la realización de los circuitos electrónicos, más no la parte de visualización y comunicación que se desarrollará en capítulos posteriores.

2.1.3. Concepto de Temperatura

La cantidad de calor contenido en un objeto no se puede medir, pero podemos medir los cambios de calor que se producen cuando hay un cambio de temperatura o un cambio de estado físico (sólido a líquido, líquido a gas, o una combinación de las anteriores). En este sentido, entonces, la temperatura es una medida del nivel de calor para un material cuyo estado físico se ha mantenido sin cambios. La relación entre la temperatura y la energía es muy similar a la que existe entre el nivel de tensión y la energía eléctrica. (SINCLAIR, 2001).

La temperatura del agua es un parámetro físico, el cual sirve para determinar la naturaleza del agua. El incremento o reducción de temperatura puede afectar propiedades y características del agua, lo que conlleva una variación en la solubilidad de gases, reacciones químicas-bioquímicas. (NAVARRA, 2011).

2.1.4. Concepto de Turbiedad.

La turbiedad del agua es una medida de cuán claro o cuán oscuro está dicho fluido, debido a la existencia de partículas extrañas. Este tipo de partículas pueden ser: microorganismos, plancton, barro, etc. La turbiedad está expresada en la Unidad Nefelométrica de Turbiedad, (UNT), y el instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

La precisión en la medida es de +- 5 a +- 10 % y el campo de medida es de 0-2400 UNT (CREUS, 1997).

2.1.5. Concepto de Conductividad.

“La conductividad es la capacidad de una solución acuosa para conducir una corriente.” (CREUS, 1997). Cuando en agua destilada se disuelven sólidos minerales aumenta su capacidad de conducción, estos sólidos al disolverse se separan en iones positivos y negativos en equilibrio con el cuerpo.

La conductividad eléctrica específica se define como el recíproco de la resistencia, y su unidad está expresada en (Siemens/cm), medida entre las dos caras opuestas de un cubo de 1 cm de lado sumergido en la solución (CREUS, 1997).

2.1.6. Concepto de Salinidad.

La salinidad es un parámetro de la cantidad de sal o contenido de sales minerales presentes en una dosis de agua que limitan la producción vegetal. Dado que la determinación del contenido total de sales requiere de análisis químicos que consumen mucho tiempo, se utilizan en substitución métodos indirectos para estimar la salinidad (HERNÁNDEZ, 2014).

2.2. Sensores y Transductores.

Para el caso del monitoreo de parámetros físicos del agua, se ha visto conveniente la utilización de los sensores basados en uniones semiconductoras, así como también los sensores resistivos y foto-resistivos, mismos que registrarán datos de temperatura, conductividad eléctrica y turbiedad respectivamente en el sistema. Para el caso de la medición de la salinidad, es necesario conocer la cantidad de sales presentes en una muestra de agua, para ello se realiza un cálculo matemático en base a la conductividad eléctrica que presenta dicho fluido.

2.2.1. Sensor.

Es un dispositivo que convierte una señal de entrada es decir una medición inicial, en una señal de salida proporcional que es no eléctrica en su naturaleza.

Un sensor es un dispositivo capaz de medir un fenómeno físico y dar como respuesta una salida apropiada de energía. Estos sensores están basados en principios de transducción resistivos, inductivos, capacitivos, fotoeléctricos, piezoeléctricos y otros principios físicos. (SZE, 2007).

2.2.2. Transductor.

Un transductor es un dispositivo que convierte una señal no eléctrica en una señal eléctrica proporcional. Es el componente más importante de un sistema de instrumentación electrónica. Para seleccionar el transductor más apropiado de una medición dada, es necesario tener un conocimiento profundo de los diversos tipos de transductores.

2.2.3. Sensor de Temperatura.

El sensor de temperatura a utilizar será la sonda Ds18b20 (termómetro digital, véase la Figura. 2.2.), que registra la variación lineal de la temperatura en función de la variación del voltaje. Utiliza un protocolo especial que permite enviar y recibir datos mediante un solo cable, a diferencia de la mayoría de los protocolos que requiere dos vías.

Posee dos pines de alimentación y un pin digital para envío de datos hacia el microcontrolador. Además presenta características de aislamiento frente al ruido y factores externos, siendo de fácil acople al adquirir señales mediante el microcontrolador.



Figura 2.2. Sensor de temperatura, sonda Ds18b20.

Fuente: (ELECTRONILAB, s.a.)

El termómetro digital DS18B20 proporciona 9 a 12 bits para mediciones de temperatura en °C y tiene una función de alarma programable por el usuario.

El DS18B20 se comunica a través de un bus por un solo pin de datos, que por definición requiere una sola línea de datos para la comunicación con un microprocesador central. Tiene un rango de temperatura de funcionamiento de -55 ° C a + 125 ° C y una precisión de $\pm 0,5$ ° C en el rango de -10 ° C a + 85 ° C (ELECTRONILAB, s.a.).

A continuación se detallan las principales características de dicho sensor citadas por el fabricante en su hoja de datos:

Características del termómetro digital Ds18b20.

- Interfaz única, requiere un solo Puerto para la Comunicación (pin1).
- Cada dispositivo tiene un código serial único de 64 bits, almacenado en una ROM.
- No requiere componentes externos.
- Puede ser alimentado desde la Línea de Datos; fuente de alimentación de 3.0V a 5.5V
- Medidas de temperatura de -55 °C a + 125 °C.
- Precisión de $\pm 0,5$ °C en el rango de -10 °C a + 85 °C.
- Resolución del termómetro es seleccionable por el usuario 9-12 Bits.
- Convierte la temperatura en formato Digital 12-Bit en 750 ms (ELECTRONILAB, s.a.).

2.2.4. Sensor de Conductividad.

El sensor de conductividad a utilizar está basado en una celda formada por dos placas conductoras separadas a una distancia de 1cm, con un área aproximada de 1cm^2 .

El método que se utiliza para medir la conductividad eléctrica de un líquido (agua) consiste en la circulación de una corriente alterna a través del mismo, excitando una caída de tensión proporcional a la conductividad de dicho fluido.

La conductividad se genera debido a la presencia de iones disueltos en la solución, por ello si se escoge una fuente de tensión de corriente continua existe el riesgo de que se produzca el fenómeno de electrólisis debido a la absorción o desprendimiento de electrones. Al utilizar una fuente de tensión de corriente alterna los iones no tienen tiempo de intercambiar electrones con los electrodos y la disolución se comporta como un medio conductor, y con ello se puede medir la resistencia eléctrica en dicho conductor.

La conductividad específica k está definida por

$$R = \frac{l}{A} \frac{1}{R} = \frac{\mu S}{cm}, \text{ siendo:}$$

A = Área de cada placa,

l =longitud entre las placas,

R =Resistencia.

Este método se puede aplicar a varios tipos de aguas, entre ellas: crudas, superficiales y tratadas, aguas residuales y naturales, incluidas las aguas marinas. En el caso de estas últimas, es recomendable medir su salinidad. Como objetivo más importante se puede mencionar el verificar el cumplimiento de la legislación vigente para aguas potables en lo que se refiere a la conductividad. El control del agua potable distribuida, permite descubrir variaciones causadas por infiltraciones de aguas de mineralizaciones diferentes y a menudo, contaminadas. En las aguas residuales es necesario tomar en cuenta que, existe la posibilidad de encontrar altas concentraciones de sólidos disueltos, esto no es un impedimento ya que los valores de conductividad pueden ser bajos porque las materias orgánicas y coloidales son, en general, malas conductoras de la corriente eléctrica. (SEVERICHE, Castillo, & Rosa, 2013).

El esquema de medición propuesto para un circuito de conductividad eléctrica se muestra en la Figura 2.3.:

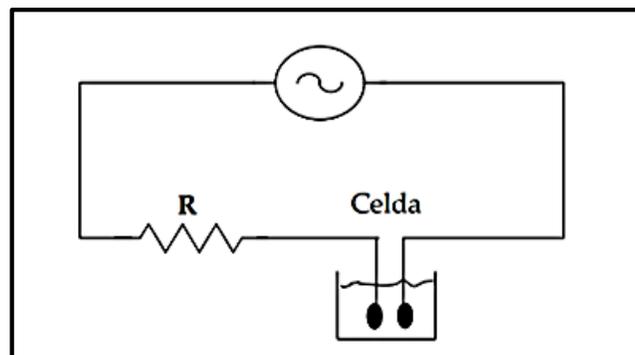


Figura 2.3. Circuito de Conductividad.

2.2.5. Sensor de Turbiedad.

El principio de medición de turbiedad para el presente trabajo está basado en el método nefelométrico, que mide la dispersión de la luz generada por las partículas en suspensión sobre un fluido.

El procedimiento a seguir se muestra a continuación: para la medición se realiza la excitación de un fotodiodo receptor mediante la emisión de un haz de luz a partir de un diodo LED emisor que se encuentra ubicado perpendicular al fotodiodo receptor. El fotodiodo receptor se encarga de medir la luz reflejada por las partículas de luz en suspensión contenidas dentro del líquido.

2.3. Diseño de un circuito y acoplamiento de señales del sistema.

Las señales eléctricas generadas por los transductores y/o sensores deben ser optimizadas para un rango de entrada de cualquier tarjeta de adquisición de datos a usar. Durante el acondicionamiento de la señal se puede amplificar señales de bajo nivel, aislarlas y filtrarlas para mediciones más precisas. Algunos transductores requieren voltaje o corriente de excitación para generar una salida de tensión. Entre las aplicaciones más representativas para el acondicionamiento de la señal tenemos:

- Amplificación - Es la aplicación más común. Las señales de termopares o de bajo nivel, por ejemplo, deberían ser ampliados para aumentar la resolución y reducir el ruido. La señal debe ser amplificada de modo que el rango máximo de voltaje de la señal acondicionada sea igual al rango de entrada máximo del convertidor analógico-digital (ADC).
- Aislamiento – Se debe aislar las señales del transductor y señales del computador por seguridad. El sistema que se supervisa puede contener picos de alto voltaje que podrían dañar el equipo. El aislamiento asegura que las lecturas de datos a través de una tarjeta de adquisición de datos no se vean afectados por las diferencias de potencial de tierra o las tensiones de modo común.

- Multiplexación – La técnica común para la medición de varias señales con un solo dispositivo de medición se conoce como multiplexación. Los dispositivos de acondicionamiento de la señal para señales analógicas a menudo proporcionan multiplexación para su uso con señales que cambian lentamente, como la temperatura.
- Filtrado - El propósito de un filtro es eliminar señales no deseadas de la señal que se está tratando de medir. Un filtro de ruido se utiliza en señales de CC, por ejemplo en la temperatura al no atenuar las señales de alta frecuencia, se puede reducir la exactitud de la medición. Señales de AC como vibraciones a menudo requieren un tipo diferente de filtro conocido como un filtro anti-aliasing. También es un filtro de paso bajo; sin embargo, se debe tener una tasa de corte muy empinada, por lo que se elimina casi por completo todas las frecuencias de la señal que son más altas que el ancho de banda de entrada de la placa.
- Excitación – El acondicionamiento de señal también genera excitación para algunos transductores. Los medidores de deformación, termistores, y RTD, por ejemplo, requieren señales de excitación de corriente de alimentación externa o. Algunos utilizan una configuración de puente de Wheatstone con una fuente de excitación de tensión.
- Linealización - Otra de las funciones de acondicionamiento de señal común es linealización. Muchos transductores, tales como termopares, miden una respuesta no lineal a los cambios en los fenómenos. Software como LabVIEW incluyen rutinas de linealización para termopares, medidores de tensión y RTD. (National Instruments, 1999).

2.3.1. Diseño de circuito para medición de Temperatura.

En la Figura 2.4., se aprecia el esquema de acondicionamiento de la señal para el circuito de temperatura, mismo que está constituido por tres etapas:

- en la primera etapa el sensor de temperatura DS18B20 entrega una señal digital directamente proporcional a la variación de su temperatura con el voltaje,
- en la segunda etapa el voltaje del sensor pasa a un circuito de acoplamiento mediante una resistencia ($R=4.7K\Omega$) conectada a V_{CC} ,
- y, en la tercera etapa la señal obtenida en formato digital 9-12 bits es ingresada al microcontrolador, para su respectivo procesamiento.



Figura 2.4. Esquema de acondicionamiento del circuito de Temperatura.

2.3.1.1. Simulación del circuito de Temperatura.

Para el diseño de los circuitos primero se realizó la simulación de los mismos mediante el uso del programa Proteus 8, pues al ser un software libre resulta básico para cualquier diseño de circuitos electrónicos.

En la Figura 2.5., se muestra el circuito de temperatura simulado en Proteus 8, el sensor de temperatura DS18B20 simula una salida de 5°C , luego esta señal pasa a través de una resistencia acondicionadora de $4.7K\Omega^3$ mediante el pin 2, que a su vez se conecta al microcontrolador (señal de temperatura). El sensor es alimentado a V_{CC} por el pin 3.

³ La resistencia de $4.7K\Omega$, ayuda a tener una variación lineal del voltaje, conforme varía la temperatura.

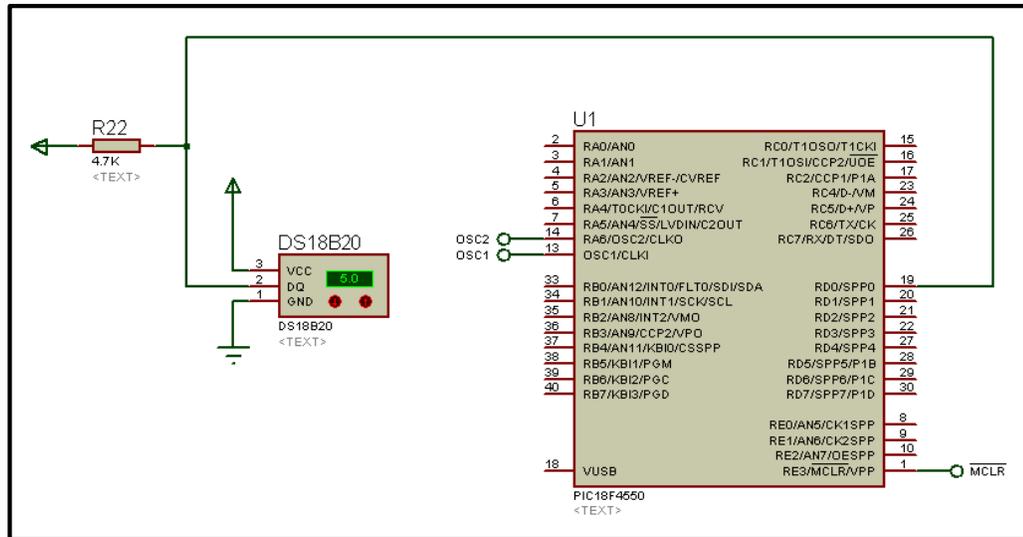


Figura 2.5. Simulación del circuito de Temperatura en Proteus.

2.3.2. Diseño de circuito para medición de Conductividad.

En la Figura 2.6. se presenta el esquema del circuito de medición de conductividad del agua, en la cual se describen las diferentes etapas del circuito: en la primera etapa se tiene un circuito generador de onda cuadrada, que sirve para generar una onda de corriente alterna; en la segunda etapa se realiza un ajuste de nivel de amplitud esto para regular el voltaje con el que se desea trabajar; en la tercera etapa se realiza la medición de corriente que atraviesa las celdas dentro del fluido para obtener un valor de resistencia el cual servirá para obtener la conductividad del fluido; y por último una cuarta etapa en la que la señal de corriente es tratada para poder ser procesada o leída por el microcontrolador.

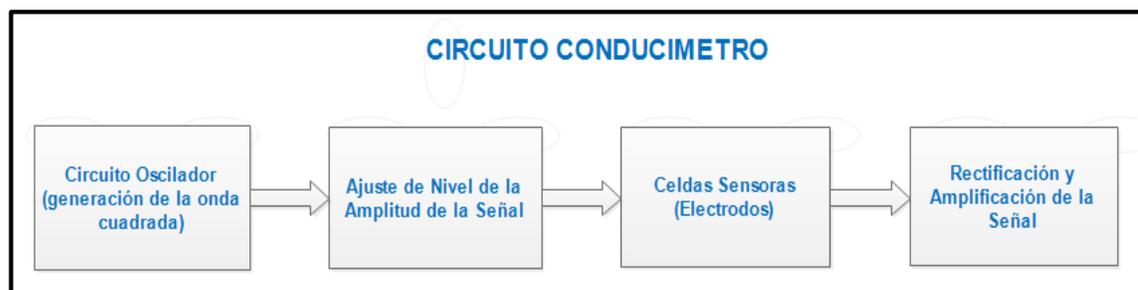


Figura 2.6. Esquema de acondicionamiento del circuito de Conductividad.

2.3.2.1. Simulación del circuito de medición de conductividad.

En la Figura 2.7., se presenta el circuito simulado en Proteus8, con cada una de sus etapas que se detallan a continuación.

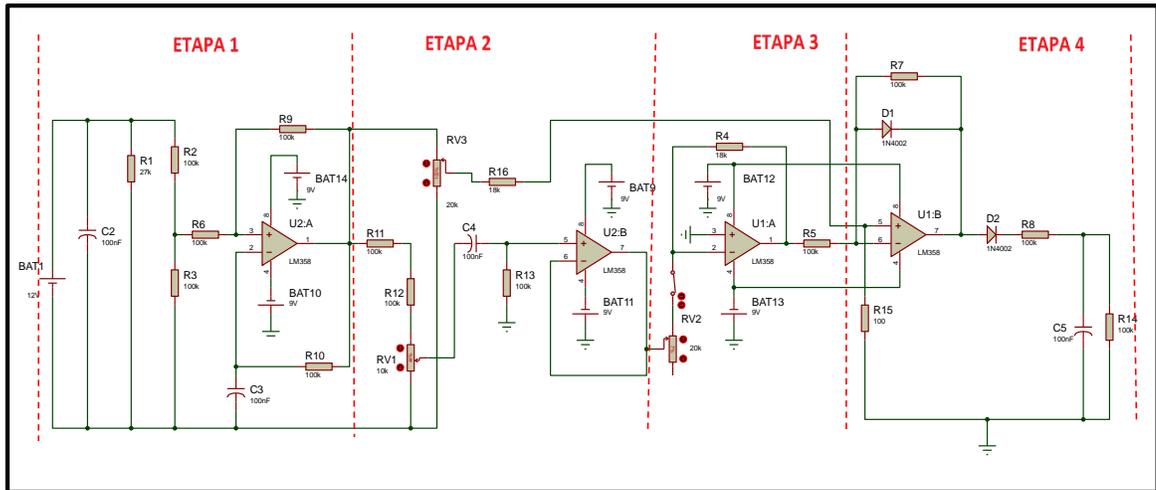


Figura 2.7. Simulación del circuito de Conductividad en Proteus.

2.3.2.2. Simulación del circuito de medición de conductividad etapa 1.

La primera etapa del circuito (Figura 2.8.1.) está formada por un oscilador o generador de onda cuadrada el cual permitirá alterar el sentido de la corriente en los electrodos a la frecuencia que se necesite.

Mediante R10 y C2 se obtiene la frecuencia deseada, el amplificador operacional funciona como multivibrador a estable basado en un comparador con histéresis, y su forma de onda se grafica en el osciloscopio virtual de la Figura 2.8.2.

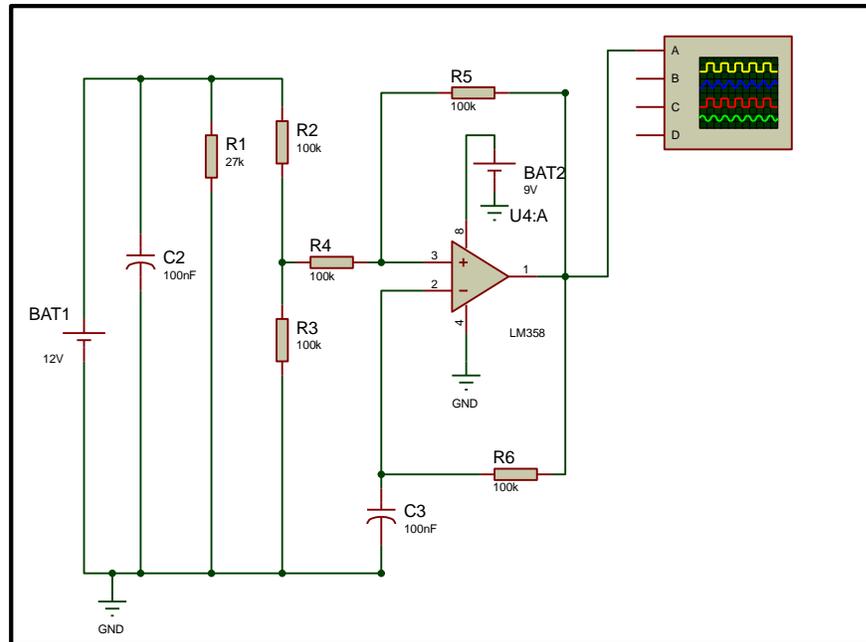


Figura 2.8.1. Simulación de la Etapa 1 del circuito de Conductividad.

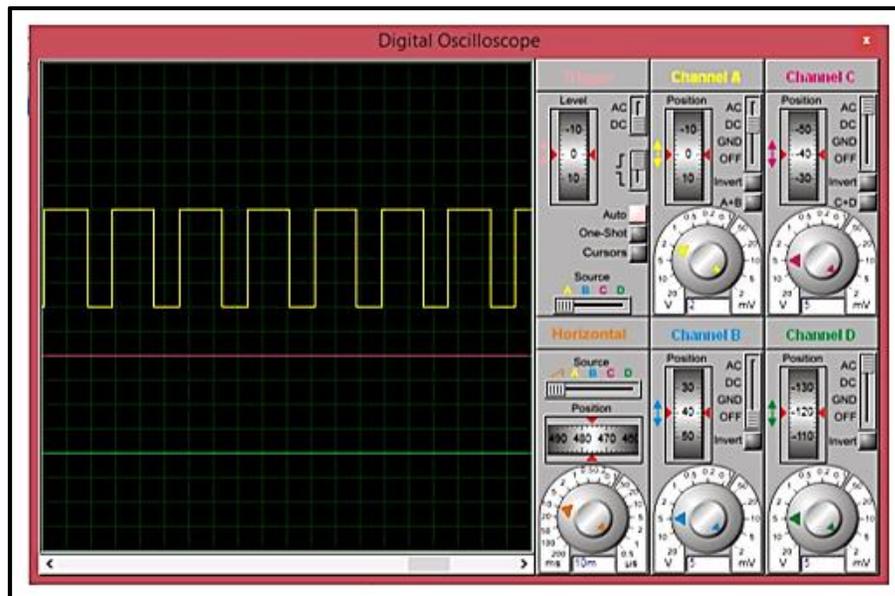


Figura 2.8.2. Gráfica de onda cuadrada en Proteus.

2.3.2.3. Simulación del circuito de medición de conductividad etapa 2.

En la segunda etapa (véase la Figura 2.8.3.) se realiza un ajuste de nivel de amplitud, esto para determinar el voltaje de rango de trabajo, mediante el partidor de tensión formado por el potenciómetro RV1, R7 y R8, el condensador C4 conjuntamente con R9 forman un filtro pasa bajo para frecuencias inferiores a 60Hz, el amplificador operacional funciona solo como un seguidor de voltaje dejando pasar el voltaje.

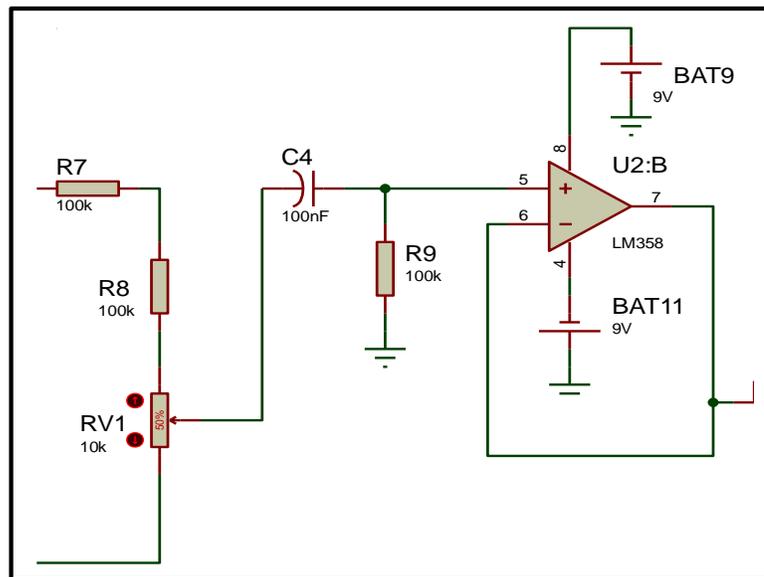


Figura 2.8.3. Simulación de la Etapa 2 del circuito de Conductividad.

2.3.2.4. Simulación del circuito de medición de conductividad etapa 3.

En la etapa 3 (véase la Figura 2.8.4.) se realiza la medición de la resistencia del líquido con los electrodos, mismos que están representados por un potenciómetro de 20 K Ω (RV2), con ello se obtiene una corriente en alterna que tiene que ser transformada un circuito de voltaje y a la vez amplificada la señal.

2.3.2.5. Simulación del circuito de medición de conductividad etapa 4.

En la última etapa (véase la Figura 2.8.5.) se realiza la rectificación de onda de CA a CC, esto mediante la utilización de dos diodos 1N4002, también se realiza una etapa de amplificación de la señal para luego ser procesada por el microcontrolador, (acoplado con un diodo zener de 5,1V para protección del convertidor analógico digital del microcontrolador).

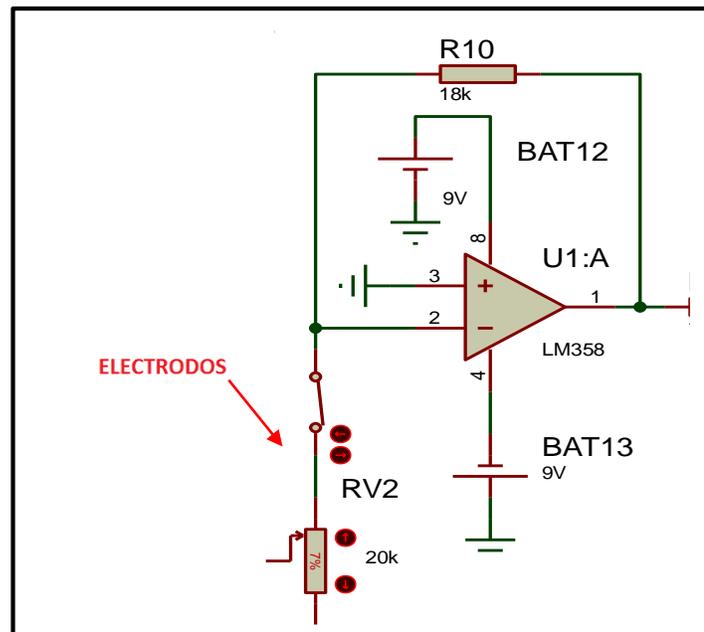


Figura 2.8.4. Simulación de la Etapa 3 del circuito de Conductividad.

En la Figura 2.8.6., se muestra en el osciloscopio virtual la onda generada en AC (color amarillo) y la onda rectificada y amplificada (color azul) en CC, con esto ya se puede determinar la conductividad del agua en $\mu\text{S}/\text{seg}$, al variar la resistencia de los electrodos mencionados en la figura anterior.

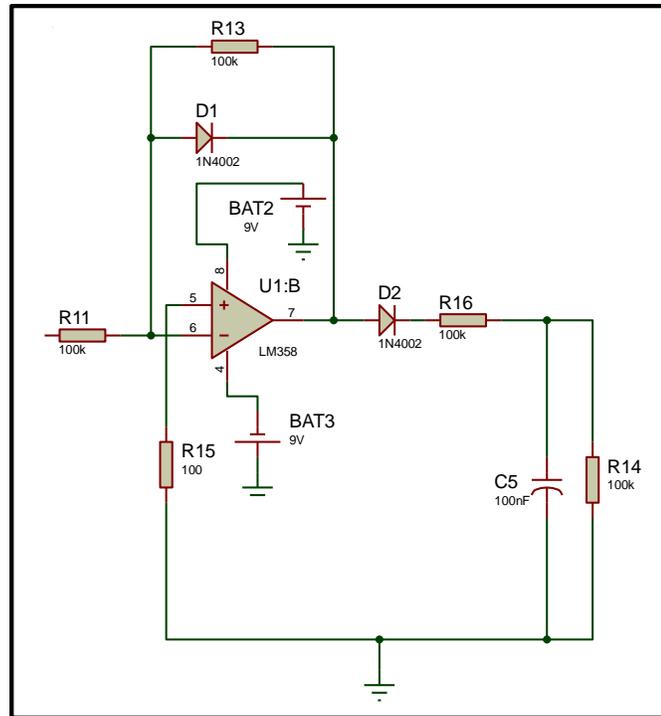


Figura 2.8.5 Simulación de la Etapa 4 del circuito de Conductividad.

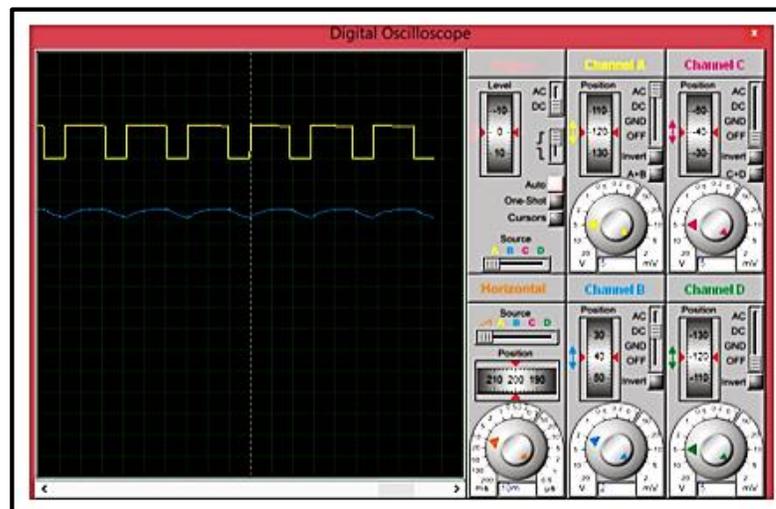


Figura 2.8.6. Gráfica de la onda rectificada.

2.3.2.6. Cálculos de la Simulación del circuito de medición de conductividad.

La frecuencia para el generador de onda (véase la Figura 2.8.2.), se determina a partir de la ecuación de un multivibrador a estable:

$$T = -2 * R_6 * C_3 * R_5 \ln \left[\frac{R_5}{2R_4 + R_5} \right]$$

$$\text{Si } R_5 = R_4 \quad T = 2R_6 C_3 \ln 3 \approx 2.2 R_6 C_3 \quad T = 2.2 * (100k\Omega) * (100nF)$$

$$T = 0,022 \text{ seg.} \quad F = \frac{1}{T} \quad F = \frac{1}{0.022} = 45,45 \text{ Hz.}$$

2.3.3. Diseño de circuito para medición de Turbiedad.

En la Figura 2.9., se muestra el esquema de acondicionamiento de la señal para el circuito de turbiedad, mismo que está constituido por cinco etapas:

En la primera y segunda etapa un circuito de diodo LED emisor se encargará emitir un haz de luz con una longitud de onda de 660 nm aproximadamente, con lo cual se pretende excitar a un circuito de fotodiodo receptor, para obtener un valor de voltaje el cual varía en función de la intensidad de luz que llega hacia el fotodiodo receptor.

En base a este principio se determina cuan clara o cuan oscura está el agua. La tercera etapa tiene que ver con el filtrado de la señal que se obtiene, para ello se utiliza un filtro pasa bajo, esto debido a que nos interesa las frecuencias inferiores a 60Hz, además de esto es necesaria la utilización de un seguidor de voltaje en la cuarta etapa debido a su alta impedancia que ofrece el amplificador operacional a la entrada y su corriente depreciable a la salida del mismo, por último se realiza una etapa de amplificación con una ganancia equivalente al doble, este voltaje se envía al microcontrolador y servirá para obtener un voltaje de referencia que permitirá determinar la turbiedad del agua.

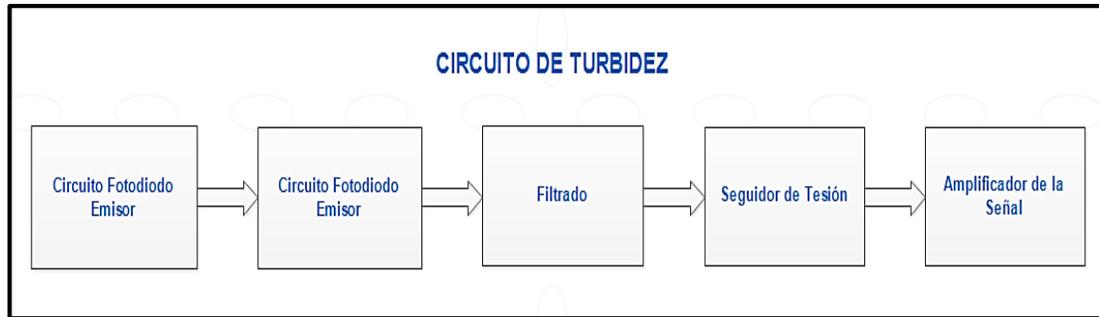


Figura 2.9. Esquema de acondicionamiento del circuito de Turbiedad.

2.3.3.1. Simulación del circuito de Turbiedad fotodiodo Emisor.

En la Figura 2.10., se observa el circuito de un diodo LED emisor azul simulado en Proteus 8, inicialmente el LED se activa mediante una salida digital del microcontrolador conectada hacia un extremo de la resistencia R3, el transistor Q2 se activará cuando reciba un pulso del microcontrolador en nivel alto, es decir exista una corriente de base, en la simulación se utilizó un generador de onda PWM (Dout). La resistencia R4 sirve de protección para el LED cuando se active el transistor únicamente; con ello el led se enciende y podrá excitar al circuito del fotodiodo.

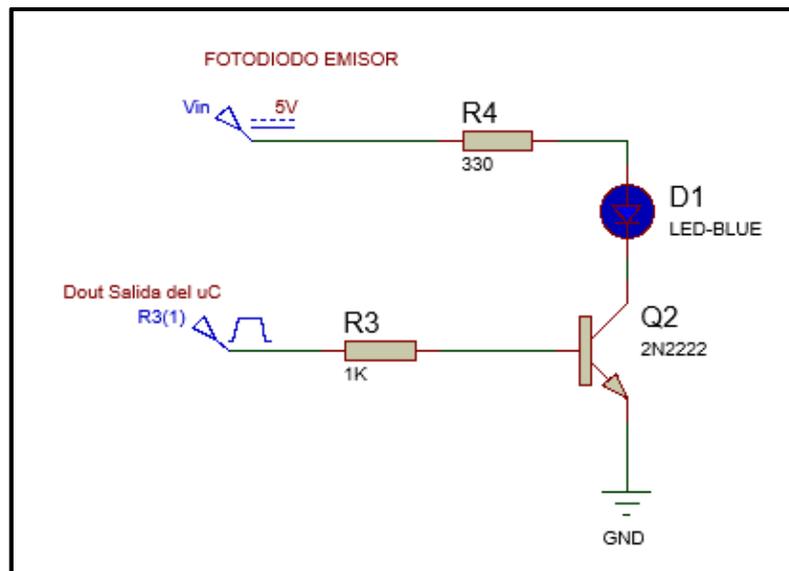


Figura 2.10. Simulación del circuito de Turbiedad en Proteus, fotodiodo Emisor.

2.3.3.2. Simulación del circuito de Turbiedad, fotodiodo Receptor y Acoplamiento de la señal.

En la Figura 2.11., se observa el circuito de un fotodiodo receptor simulado en Proteus 8, una vez que el diodo LED emite cierta intensidad de luz sobre el Fotodiodo receptor D2, se produce una variación de voltaje de acuerdo con la variación de luminosidad sobre D2. Esta señal forma un partidor de tensión conjuntamente con la resistencia de polarización R5 para obtener una variación de voltaje aceptable ya que el fotodiodo genera corriente. Estas señales utilizan un filtro pasa bajo formado por R5 y C2, que permite el paso únicamente de frecuencias menores o iguales a 60Hz y con esto reducir el ruido que se puede introducir por dicho circuito. Un circuito seguidor de tensión formado por un amplificador operacional LM358 entrega a la salida el mismo voltaje de la entrada. Finalmente se realiza una etapa de amplificación con un LM358 como no inversor las resistencias R8 y R7 (gan.= 2) permiten obtener dicha ganancia. Una vez obtenido el voltaje amplificado este es enviado al microcontrolador (acoplado con un diodo zener de 5,1V para protección del convertidor analógico digital del microcontrolador).

Calculo del circuito de Turbidez, fotodiodo Receptor.

Dado que un fotodiodo receptor se activa al recibir cierta cantidad de luz, emitida por una fuente (fotodiodo emisor), esta variación de voltaje es función de la cantidad de luz emitida, y dicho voltaje pasa a través de un filtro, y un seguidor de tensión. A continuación se muestra los cálculos de la ganancia a la salida del operacional.

$$V_{in}=1V,$$

$$R8=1k\Omega,$$

$$R9=1k\Omega.$$

$$V_o = V_{in} \left[1 + \left(\frac{R8}{R7} \right) \right]$$

$$V_o = 1V \left[1 + \left(\frac{1k\Omega}{1k\Omega} \right) \right]$$

$$V_o = 2V$$

$$V_o=2V.$$

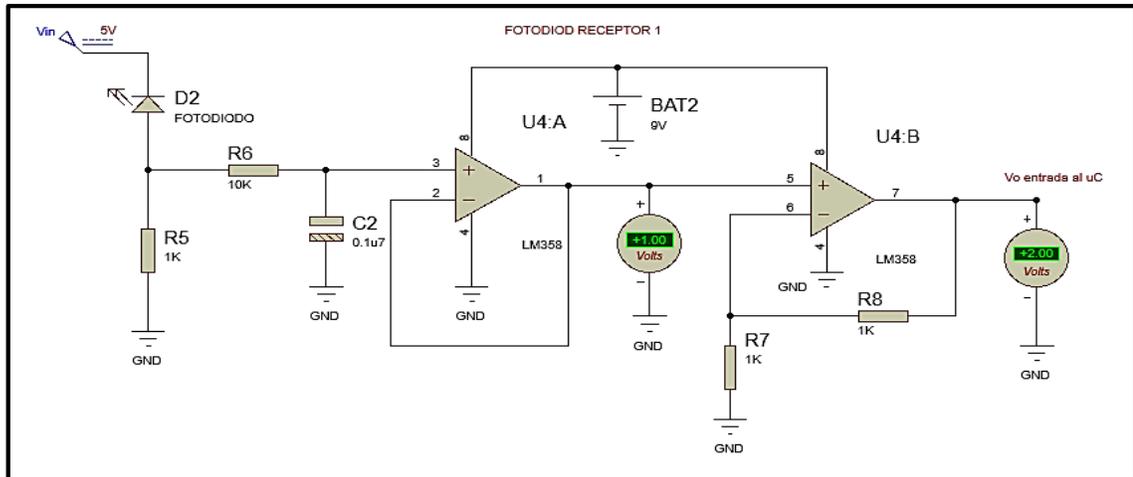


Figura 2.11. Simulación del circuito de Turbiedad en Proteus, fotodiodo Receptor.

2.3.3.3. Interpretación de las señales para la Medición de Turbiedad.

Como se pudo observar en el circuito de la Figura 2.11, el voltaje de salida V_0 , es el que ingrese al microcontrolador. Este voltaje está en función de la luz censada por el fotodiodo receptor, con este valor de voltaje se puede obtener los niveles de Turbiedad del líquido.

La estructura utilizada en el diseño del circuito de turbiedad será de material plástico para que contenga al fotodiodo receptor y al diodo led emisor, el esquema se presenta en la Figura 2.12.

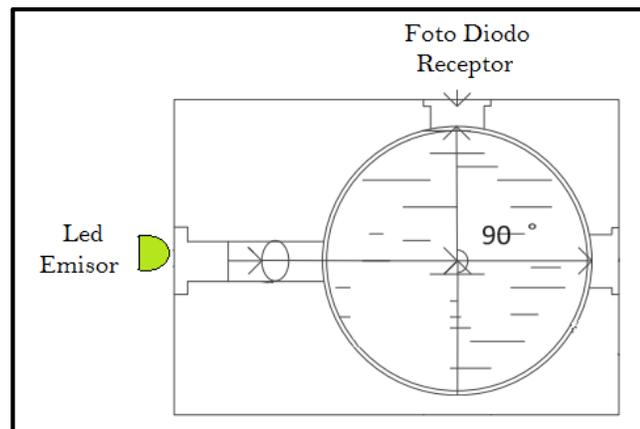


Figura 2.12. Esquema de la Estructura del medidor de Turbiedad.

Puesto que este es un sistema móvil en tiempo real; no es estacionario y tampoco de laboratorio, no se realizarán mediciones precisas, ni que impliquen valores exactos en la medición, esto por las condiciones de funcionamiento antes mencionadas. Por tal motivo, para la medición de turbiedad se ha diseñado tablas, con valores de rangos o pertenencias, por ejemplo para que el sistema sea entendible por cualquier persona, existirá un valor de referencia de la turbiedad del agua que indique si está muy turbia, óptima, medio turbia, o no es turbia de acuerdo a dichos niveles y rangos.

La salida que ingresa al microcontrolador estará dada en la escala de milivoltios, con una variación de 10mv a 5000mv. Con esto se puede establecer rangos de turbiedad según el nivel de voltaje adquirido. Esto se realizara en capítulos siguientes, en la etapa de presentación de resultados.

2.3.4. Medición de Salinidad.

Para obtener una medida de la cantidad de sales presentes en un volumen de líquido no es necesario la construcción de ningún circuito, ya que a diferencia de los sensores de temperatura, conductividad y turbiedad, para la medición de este parámetro basta con hacer relaciones y cálculos matemáticos en base a la conductividad eléctrica de dicho fluido.

Las medidas se realizan con las mismas referencias que de la conductividad y el resultado es obtenido en ppt (partes por mil), la relación entre la salinidad y la conductividad es la siguiente:

$$\frac{2\mu\text{S}}{\text{cm}} = 1\text{ppm} = \frac{2\text{mg}}{\text{l}}$$

CAPITULO III.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL NODO DE EXPLORACIÓN ACUÁTICO.

Para una mejor estructuración del trabajo este capítulo se ha dividido en dos partes: diseño electrónico y diseño mecánico. Primero se realizará una revisión teórica de los elementos que forman parte del prototipo, luego se diseñará circuitos de control y potencia del sistema. Posteriormente se desarrollará el firmware para la comunicación entre hardware y el software de control mediante el microcontrolador, luego se procede al diseño y construcción del nodo móvil de exploración, analizando materiales, esquema mecánico y métodos flotabilidad y desplazamiento. También se realizará la implementación de un panel solar para que el módulo funcione de manera autónoma y se recargue automáticamente mediante energía renovable.

3.1. Diseño electrónico.

En la parte del diseño electrónico se describen los elementos que conforman el sistema de control del módulo móvil sensor, para la posterior elaboración de placas electrónicas. También se detalla la programación utilizada, la interfaz gráfica de usuario para control y monitoreo de parámetros, así como también el suministro de energía en el sistema.

3.1.1. Especificaciones de Hardware.

A continuación se detallan los elementos físicos que forman parte del sistema móvil de sensores, permitiendo la adquisición de datos y la comunicación entre los diferentes módulos.

3.1.1.1. Arduino.

“Arduino es una plataforma electrónica de código abierto para la creación de prototipos, basada en hardware y software libre”. Está diseñada para estudiantes, profesionales que deseen incursionar en el desarrollo de sistemas electrónicos interactivos y de fácil entendimiento. Arduino es una placa electrónica que cuenta con entradas y salidas, que permite interactuar entre el mundo físico y el mundo virtual. Fue creada por David Cuartielles y Massimo Banzi durante el año 2005; el primero un ingeniero electrónico y docente de la Universidad de Mälmo, Suecia, y el segundo un Italiano, diseñador y desarrollador Web.

Software Arduino.

Los programas son llamados sketches y son realizados en el ordenador usando el entorno de desarrollo integrado de Arduino (IDE). El IDE le permite escribir, editar y convertir este código en instrucciones comprensibles por hardware Arduino. El IDE también realiza la transferencia de esas instrucciones a la placa Arduino (proceso llamado uploading).

3.1.1.2. Arduino Mega 2560.

El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega 2560 (ver anexo hoja de datos). Cuenta con 54 pines digitales de entrada/salida (15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos seriales), un cristal oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio (ARDUINO, 2009). La energía puede ser suministrada con un cable USB o con un adaptador de CA o la batería a CC (véase la Figura 3.1.).

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

La placa puede funcionar con un suministro de energía de 6 a 20 voltios. Si se suministra con menos de 7V, puede ser inestable. Si se utiliza más de 12 V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

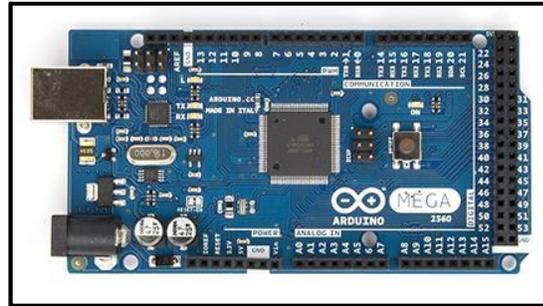


Figura 3.1. Placa Arduino Mega 2560 R3.

Fuente: (ARDUINO, 2009).

Tabla 3.1. Características Arduino Mega 2560.

Parámetros	Descripción
Corriente DC de Pin	3.3V, 50 mA
Memoria Flash	256 KB de los cuales 8 KB utilizados por el gestor de arranque.
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad del reloj	16 MHz

Fuente: (ARDUINO, 2009).

El Arduino Mega 2560 tiene una serie de puertos para comunicarse con un ordenador, otro Arduino u otros microcontroladores. El Atmega 2560 ofrece cuatro UART para TTL (5V) de comunicación serie. Proporciona un puerto “com” virtual para software en el equipo (máquinas Windows necesitarán un archivo .inf, pero las máquinas Mac y Linux reconocer la placa como un puerto COM de forma automática.

3.1.1.3. Microcontrolador PIC 18F4550.

El PIC 18F4550 (véase la Figura 3.2.) es un microcontrolador ideal por su bajo consumo de potencia (nW) para aplicaciones de conectividad que se benefician de la disponibilidad de tres puertos serie: FS-USB (12 Mbit / s), I²C™ y SPI™ (hasta 10 Mbit / s) y un asíncrono (LIN capaces) puerto serial (EUSART).

Las grandes cantidades de memoria RAM para el almacenamiento en búfer y la mejorada memoria flash programable lo hacen ideal para el control integrado y aplicaciones de monitoreo que requieren conexión periódica con un computadora personal a través de USB para los datos de carga / descarga y / o actualizaciones de firmware (MICROCHIP, 2014).

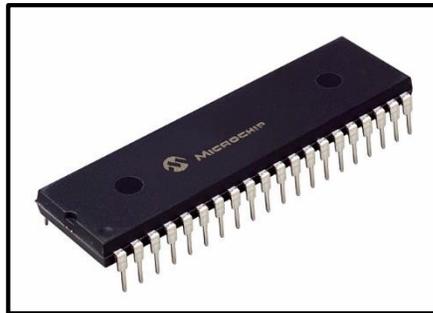


Figura 3.2. Microcontrolador PIC18F4550.

Fuente: (MICROCHIP, 2014).

Características:

- Interfaz USB 2.0 alta velocidad (/s 12Mbit).
- Puerto Dual 1K byte + 1K byte GP RAM.
- Transceptor alta velocidad.
- 16 pines (IN/OUT), puerto streaming.
- Resistencias de Pull-up internas (D+/D-).
- Frecuencia 48 MHZ (12MPS).
- Pin a pin compactible con PIC16C7X5.

3.1.1.4. XBee Shield.

El shield XBee permite comunicarse a una placa Arduino de forma inalámbrica mediante ZigBee. Se basa en los módulos XBee de la compañía Digi, pero puede utilizarse cualquier módulo del mismo tipo. El módulo cuenta con un alcance de hasta 100 pies en ambientes interiores o 300 pies con línea de vista en ambientes al aire libre. Puede ser utilizado como un reemplazo serial / usb o puede colocárselo en un modo de comando y configurarlo para conexiones de redes mesh (véase Figura 3.3.).

Los XBee shield tiene dos Jumpers, que determina el tipo de conexión. Con los jumpers en la posición XBee, los datos que se envían desde el Arduino serán transmitidos al ordenador vía USB , a la vez que se envían también a través del módulo XBee; sin embargo, el Arduino solo será capaz de recibir datos del módulo XBee y no desde el USB del ordenador. Con los jumpers colocados en la posición USB, el módulo XBee puede comunicarse directamente con el ordenador, sin embargo, esto funciona solo si el microcontrolador ha sido retirado de la placa Arduino, caso contrario será capaz de hablar con el equipo normalmente a través de USB, pero ni el equipo ni el microcontrolador será capaz de hablar con el módulo XBee.

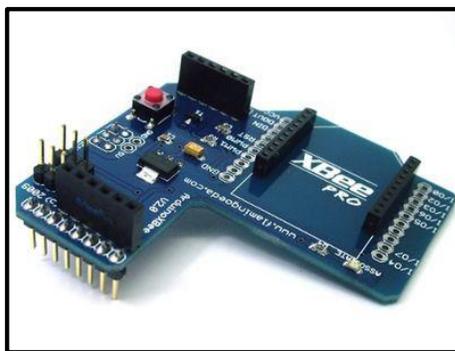


Figura 3.3. XBee Shield.

Fuente: (ARDUINO, 2009)

3.1.1.5. Módulos XBee Pro Series 2.

Según la compañía Digi, los módulos XBee son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Estos módulos utilizan el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 para crear redes FAST POINT-TO-MULTIPOINT (punto a multipunto); o para redes PEER-TO-PEER (punto a punto). (MCI Electronics, 2013).

Los módulos Serie 2 deben ser configurados antes de ser usados. Pueden funcionar en modo Transparente o por medio de comandos API, también pueden funcionar en una red mesh. Estos módulos no son compatibles con los de la Serie 1.

El módulo XBee XBP24-BWIT-004 de Digi (ver Figura 3.4.), opera a una frecuencia de 2.4GHz. La serie 2.5 mejora el consumo de energía y el protocolo de datos. La serie Pro tiene los mismos pines y utiliza los mismos comandos que la serie básica pero la salida de energía es incrementada a 50mW.



Figura 3.4. Módulo XBee pro 50mw, antena cable.

Fuente: (MCI Electronics, 2013).

Características:

- 3.3V @ 295 mA.
- Ritmo de datos máximo de 250kbps.
- 50mW de salida (+17dBm).
- 1600m de rango.
- Antena interna.
- 4 pines de entrada de 10-bit ADC.
- 10 pines digitales de Entrada/Salida.
- Encriptación en 128 bit.
- Configuración local o ‘en el aire’.
- Set de comandos AT o API.

3.1.1.6. XBee Explorer Usb.

El XBee Explorer USB (ver Figura 3.5.) permite conectar y utilizar cualquier módulo XBee directamente mediante un puerto USB. Es ideal para establecer una base inalámbrica desde un ordenador y así poder conectar sin cables a una placa que utilice un módulo XBee. Es un módulo fácil de usar, conectar el XBee a USB permite tener acceso directo a los pines serie y los pines de programación del XBee. Funciona con todos los XBee incluyendo las Series 1 y Series 2.5, standard y Pro (SparkFun, 2013).

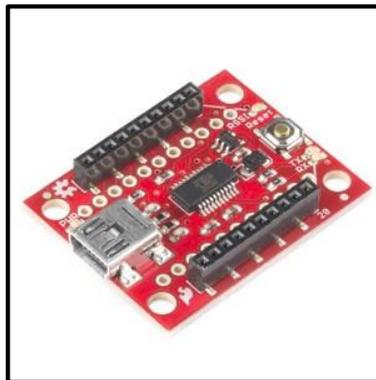


Figura 3.5. XBee Explorer USB.

Fuente: (SparkFun, 2013).

3.1.1.7. Circuito Integrado L298N.

El LN298 es un integrado formado por un puente H de alto voltaje, alta corriente, está diseñado para aceptar niveles lógicos TTL estándar y manejar cargas inductivas para relés, solenoides, y motores DC o paso a paso. El chip contiene dos "puentes H", que son de alta tensión y los controladores de puente completo de alta corriente que pueden conducir directamente a dos motores de corriente continua (ver Figura 3.6.).

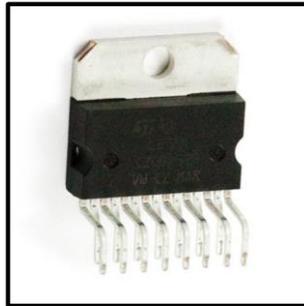


Figura 3.6. Integrado L298N (Puente H).

Fuente: (DataSheetCatalog.com, 2015)

Características:

- Tensión de alimentación de hasta 46V.
 - Tensión de alimentación lógica 4.5-7VDC.
 - La corriente total de CC de hasta 4A.
 - Baja tensión de saturación.
 - 14 Pines.
 - Protección de sobrecalentamiento.
 - Lógica de entrada "0" hasta 1,5 V (alta inmunidad al ruido).
- (DataSheetCatalog.com, 2015).

3.1.1.8. Motores DC.

Para el desplazamiento y giro del módulo a través del agua es necesario utilizar motores de corriente continua, que sean livianos, no consuman demasiada energía y tengan suficientes RPM para desplazar el módulo sobre el agua.

Observado estas características, se ha optado por utilizar motores de corriente continua de 6v-12v, disponibles en el mercado (ver Figura 3.7.).

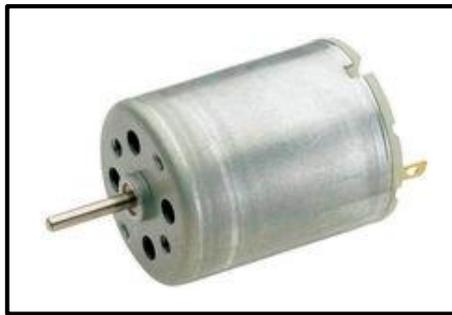


Figura 3.7. Motores de Corriente Continua.

Fuente: (Motor Corriente Contínua, s. a.).

Características:

- Tensión de trabajo: de 1V hasta 6V.
- Corriente: 0.2A.
- Longitud de eje: 8mm.
- Diámetro de eje: 2mm.
- Perfecto para coche de juguete de bricolaje
- Dimensiones: 3.7x2.0x1.7cm.
- Peso: 167g. (Motor Corriente Contínua, s. a.).

3.1.1.9. Motor Brushless.

Se ha hecho uso de un motor brushless para la propulsión del módulo móvil, ya que presentan gran eficiencia, estos motores no poseen escobillas, permitiendo por ejemplo altas velocidades con bajo consumo energético, a continuación se detalla cómo están compuestos y se describe las propiedades del motor utilizado (véase la Figura 3.8. a).

Los motores brushless DC consisten en un imán permanente o un electroimán fijo formado por un estator y un rotor con una armadura en los devanados.

La corriente es conducida a las bobinas a través de un conjunto de anillos colectores y escobillas. Las escobillas hacen contacto mecánico con un conjunto de contactos eléctricos en el rotor (el colector), formando un circuito eléctrico entre la fuente eléctrica DC y la armadura de bobina-devanados.

La conmutación entre sus fases se realiza internamente de forma mecánica, en los motores brushless las corrientes y voltajes aplicados a cada uno de los bobinados del motor deben ser controlados independientemente por una conmutación electrónica. El dispositivo encargado de realizar esta tarea se denomina controlador de motor (véase la Figura 3.8.b). Para generar par motor el controlador debe excitar continuamente los bobinados adecuados de forma que generen un campo magnético perpendicular a la dirección del rotor (YEADON & Yeadon, 2001).

Controlador de Motor Brushless.

El controlador de motores que se puede apreciar en la Figura 3.8 b, se ocupa de la creación de una forma de onda de corriente adecuada para que pueda girar el motor; sin embargo, esta corriente es muy pequeña, del orden de unos mA (miliamperios), por lo que recibe la corriente más potente por un cierto número de “interruptores” que se “encienden” y se “apagan” estos son transistores de potencia: BJT, MOSFET o IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), estos se encienden en la secuencia apropiada según lo ordenado por la forma de onda recibida del “controlador”. (CASSIOLI, 2014).



Figura 3.8. (a) Motor Brushless (b) Controlador de motor.

Fuente: (YEADON & Yeadon, 2001), (CASSIOLI, 2014).

A continuación se detalla las características eléctricas del motor brushless, modelo D2836 utilizado (véase la Tabla 3.2.).

Tabla 3.2. Características eléctricas del motor brushless.

Parámetros	Valor
Kv (rpm / v)	750
Peso (g)	67
Corriente máxima (A)	20
Resistencia (mh)	0
Max Voltaje (V)	11
Potencia (W)	206
Eje A (mm)	4
Longitud B (mm)	35
Diámetro C (mm)	28
¿Puede Longitud (mm)	20
Longitud Total E (mm)	49

Fuente: (HobbyKing.com, s. a.).

3.1.1.10. LCD Gráfico.

Para la visualización de los datos de los sensores de: temperatura, turbiedad, conductividad y nivel de energía del módulo, se utiliza un Display de Cristal Líquido (LCD) de 4 filas por 20 columnas (80 caracteres). Cuenta con luz de fondo azul para una mejor visualización, el cual puede ser regulado con un potenciómetro y se energiza con 5V (véase Figura 3.9.).

Generalmente estos tipos de LCDs suelen constar de 16 pines, tres para alimentación, tres para control y ocho para el bus de datos. Estos pines se describen en la Tabla 3.3.

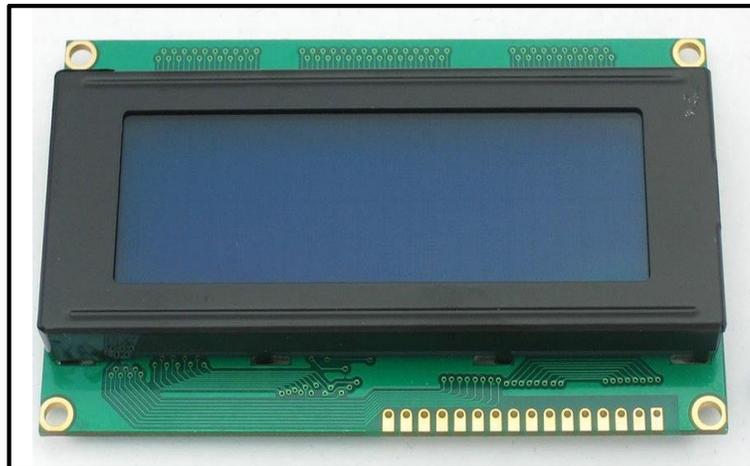


Figura 3.9. LCD 20X4.

Fuente: (tinsharp, 2004).

Tabla 3.3. Pines del LCD compatible HD44780.

PIN	Código	Descripción
1	VSS	Pin negativo de alimentación
2	VDD	Pin positivo de alimentación
3	VEE	Ajuste de contraste
4	RS	Selección de registro: 0 instrucciones, 1 datos
5	RW	Lectura (1) o escritura (0) de registro seleccionado
6	E	Señal de habilitación
7	DB0	Bit 0 del bus de datos
8	DB1	Bit 1 del bus de datos
9	DB2	Bit 2 del bus de datos
0	DB3	Bit 3 del bus de datos
11	DB4	Bit 4 del bus de datos
12	DB5	Bit 5 del bus de datos
13	DB6	Bit 6 del bus de datos
14	DB7	Bit 7 del bus de datos
15	V+BL	Positivo para la alimentación de la luz de fondo
16	V-BL	Negativo para la alimentación de la luz de fondo

Fuente: (tinsharp, 2004).

3.1.2. Sistema Autónomo de energía.

Para que el nodo final funcione de manera autónoma, es decir sin necesidad de fuentes de energía externas es necesario que este posea un sistema de autogeneración.

Esto quiere decir que se recargue automáticamente dentro de su entorno, por medio de la energía solar, esto a través de un panel poli cristalino. A continuación su esquema en la Figura 3.10.:

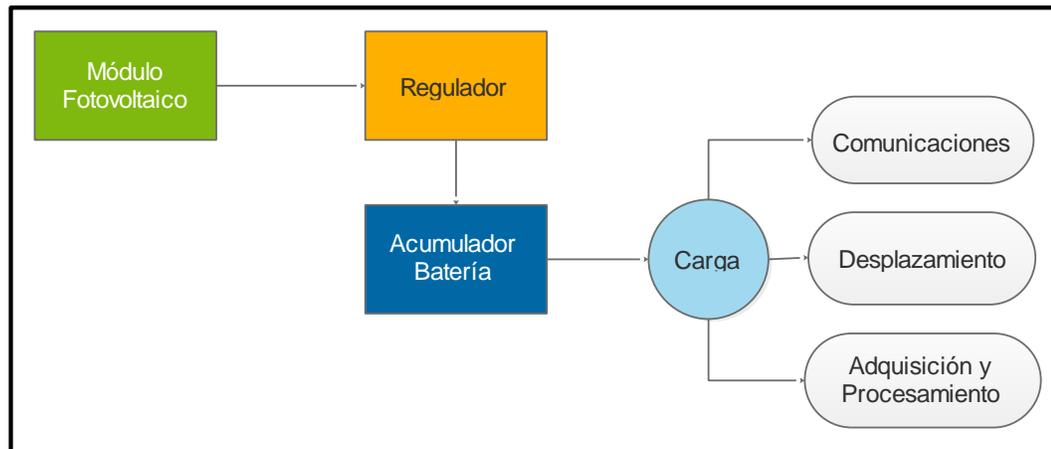


Figura 3.10. Sistema autónomo de energía, nodo final.

3.1.2.1. Baterías.

Como fuente de energía para el nodo de exploración o nodo final, se hará uso de baterías plomo-acido de 12V, ya que el amperaje es un factor importante, se utiliza baterías de 2,6 y 1,6 AH (Amperio Hora). Las baterías recargables permiten abaratar costos y beneficios ambientales en comparación con las baterías desechables.

En el caso del módulo utiliza dos baterías plomo-acido, pero se diferencia en que el circuito en sí funciona con una batería de 12 V, 1.6AH y la otra batería de 12 V también utiliza 2.6AH para poder darle mayor potencia a los motores (véase la Figura 3.11.).

Es necesario el uso de baterías recargables, esto permitirá la alimentación del circuito través del panel solar en todo momento.

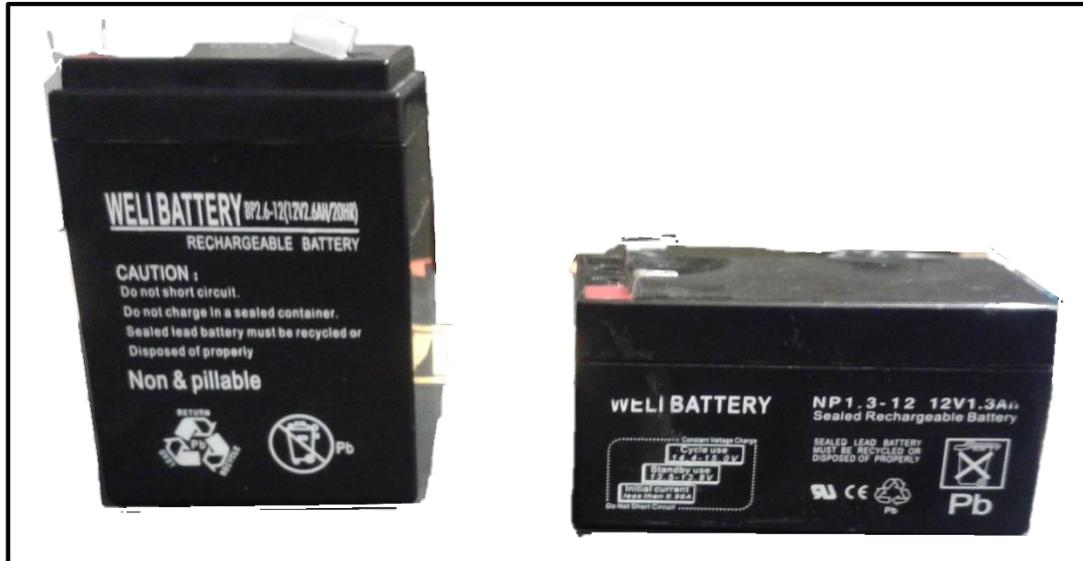


Figura 3.11. Baterías recargables a utilizar en el proyecto.

3.1.2.2. Panel Solar.

Se ha utilizado un panel solar de la marca “Zytech solar”, para la obtención de la energía solar, entre sus características destacan su peso liviano y fácil acoplamiento al módulo de exploración (ver Figura 3.11.). A continuación se describen las principales especificaciones.



Figura 3.12. Panel Solar Zytech.

Especificaciones técnicas:

- Modelo: ZT3P.
- Vida útil de panel: 25 años.

Células

- Tecnología: silicio policristalino.
- Número de células: 36.
- Dimensiones: 78 X 10mm.

Características eléctricas

- Potencia: 3w
- Voltaje a circuito abierto: 21.82V.
- Voltaje punto máx. potencia V_{mpp} 18.11 V.
- Corriente de Cortocircuito (I_{sc}): 260Ma.
- Corriente máxima: 170mA.

Características estructurales

- Largo: 274 mm.
- Alto: 209 mm.
- Ancho: 18 mm.
- Peso: 1 Kilo gramo.

3.1.2.3. Controlador de carga de baterías.

Para evitar la sobrecarga o daño de las baterías, se ha diseñado un pequeño regulador de carga, este circuito realiza el proceso de conexión y desconexión automática entre la batería y el panel solar. En el momento que la batería se encuentra por debajo de un nivel de voltaje VLT se conecta mediante un relé al panel solar, y cuando ya esté la batería por encima de un nivel de voltaje VUT se realiza la desconexión del panel solar. Este circuito es muy importante ya que evita un ciclo de histéresis, en la carga de la batería.

Con esto se aumentará la vida útil de la batería, ya que no se sobrecarga la misma, y solo se suministra energía en el momento que necesita ser cargada.

Para que el panel solar pueda cargar a la batería, este debe poseer un voltaje mayor a ella, si esta condición no se cumple, el panel nunca llegará a cargar la batería. También es necesario registrar el voltaje de la batería a distancia por lo que se diseña un circuito que censa el voltaje de la batería. Los datos deben ser enviados al microcontrolador, para su lectura y reenvío a través de la red.

Simulación del circuito cargador de baterías.

En la Figura 3.13., se puede observar la simulación del sistema de control de carga de las baterías. El cual cuenta básicamente de dos amplificadores operacionales Lm358, que están en configuración de comparadores de voltaje (voltaje VLT y VUT del párrafo anterior). Con los potenciómetros RV1 y RV2 se regulan los límites en los que el sistema entra en modo de carga o desconexión. El led amarillo se encenderá cuando el sistema está cargándose. Y el led verde se encenderá cuando el sistema está a plena carga de batería. Es decir que la batería ya no se está cargando.

Cálculos del circuito cargador de baterías:

Comparador Nivel Alto

El operacional U1:B se encuentra en modo comparador, el primer valor de referencia está dado por las resistencias R3 y R2 que se encuentran en configuración de partidor de tensión e ingresa a la entrada V(-) del operacional.

$$V(-) = \frac{12v * R7}{(R7 + R8)}$$

$$V(-) = \frac{12V * 15k\Omega}{(15k\Omega + 4.7k\Omega)}$$

$$V(-) = \frac{180}{(19.7)}V.$$

$$V(-) = 9.13V.$$

El segundo valor de referencia está dada por las resistencias: RV1 y R1 que en configuración de partidor de tensión se conectan la entrada v (+) del operacional U1:B. Para de cálculos y demostración se establece $V_{bat} = 14V$ y $R_{v1} = 2.5k\Omega$.

$$V(+)=\frac{V_{bat} * RV1}{(RV1 + R10)}$$

$$V(+)=\frac{14V * 2.5k\Omega}{(2.5k\Omega + 15k\Omega)}$$

$$V(+)=\frac{35}{(17.5)}V.$$

$$V(+)=2V.$$

Si $V(+)>V(-)$ entonces $V_{out} = 12V$, (Estado = Cargando), se enciende led amarillo.

Si $V(+)<V(-)$ entonces $V_{out} = 0V$, Q2 se polariza (Estado = Sin Carga) apaga led amarillo, se enciende led verde .

Para este caso se tiene $[V(+)=2V] < [V(-)=9V]$, por lo tanto se obtiene un estado de sin carga, puesto que la batería se encuentra cargada con voltaje $V_{bat}=14V$.

Comparador Nivel Bajo

El operacional U1:A encarga de vigilar el nivel mínimo que se dejará bajar la batería , R3 y R4 forman el divisor para el voltaje de referencia V (-).

$$V(-)=\frac{12v * R4}{(R3 + R4)}$$

$$V(-)=\frac{12 * 15k}{(15k + 4.7k)}$$

$$V(-)=\frac{180}{(19.7)}V.$$

$$V(-)=9.13V$$

Posteriormente R2 y RV5 forman un divisor de tensión que se conecta a la entrada de voltaje de referencia V(+).

Para cálculos y demostración se establece $V_{bat} = 3V$ y $R_{v5} = 2.5k\Omega$.

$$V(+) = \frac{V_{bat} * RV5}{(RV5 + R2)}$$

$$V(+) = \frac{3V * 2.5k\Omega}{(2.5k\Omega + 10k\Omega)}$$

$$V(+) = \frac{7.5}{(12.5)}V.$$

$$V(+) = 0.6V$$

Cuando el voltaje de la batería baja por debajo de cierto punto, la salida se pone en 0V, polarizando el transistor Q2 y activando el relé para la carga de la batería, se enciende el led amarillo, se apaga el led verde.

Para este caso se tiene $[V(+)= 0.6v] < [V(-) = 9.13]$, por lo tanto se obtiene un estado de carga, puesto que la batería se encuentra cargada con voltaje $V_{bat}= 3V$.

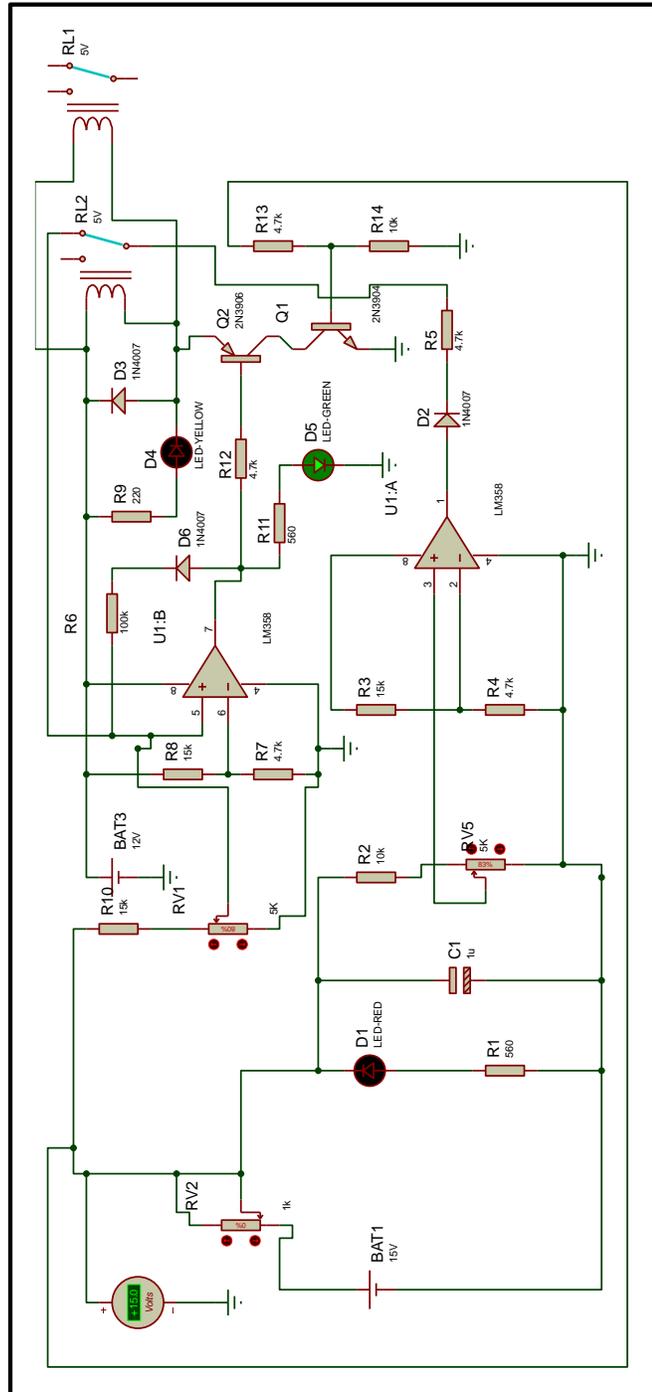


Figura 3.13. Simulación circuito control de carga de Batería.

3.1.3. Diseño de Placas Electrónicas

Para el proceso de fabricación de las placas de circuitos impresos, primero se han determinado las necesidades de cada circuito, ya sea una fuente de alimentación, pines de entrada o de salida, filtros o sistemas de protección de circuitos. El diseño de las placas ha sido elaborado por ordenador utilizando el software PCB WIZARD, y Proteus ARES, ya que brindan las características necesarias para la realización de todas las placas.

3.1.3.1. Placa controladora de Motores.

Antes de la realización de la placa de circuito impreso PCB de motores se realiza una simulación del mismo, para conocer su funcionamiento.

Simulación del Circuito control de Motores.

Para el control de los motores durante el desplazamiento del módulo, como se mencionó antes, es necesario el circuito integrado puente H “L298N”, mismo que permite la inversión de giro, al activar o desactivar ciertas entradas digitales, representadas con interruptores. Los diodos sirven de protección para los motores (ver Figura 3.14.).

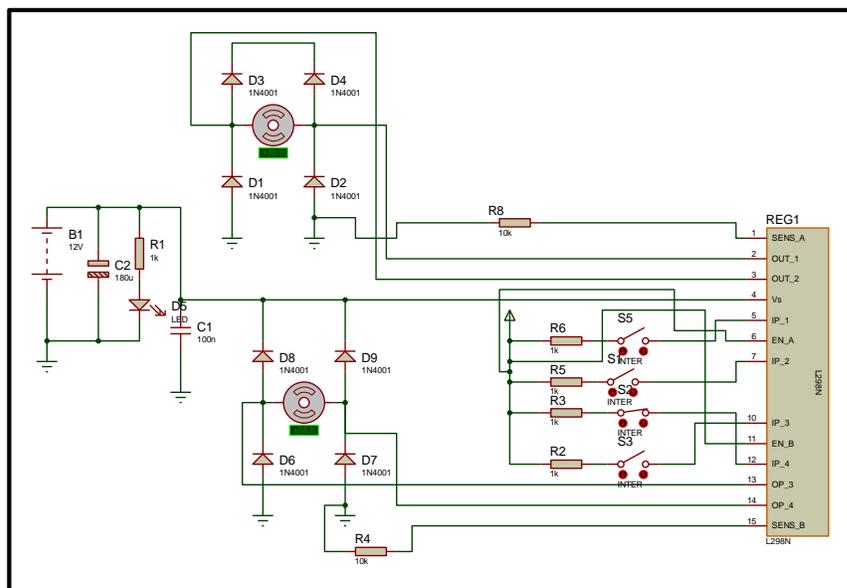


Figura 3.14. Simulación Circuito Controlador de Motores.

Sentido de giro.

El sentido o dirección de giro de un motor DC depende del sentido de las corrientes circulantes por los devanados inductor e inducido del mismo. En la Tabla 3.4., se muestra la secuencia del funcionamiento del circuito integrado L298N, siendo “L” un nivel lógico en bajo, “H” un nivel lógico en alto, “P” un pulso y “X” no relevante.

Tabla 3.4. Secuencia del integrado L298.

A Activado	Entrada A (+)	Entrada A (-)	ESTADO DE POTENCIA DEL MOTOR
L	X	X	Apagado
H	L	L	Parado (Freno)
H	H	L	Girar CW (Rápido)
H	L	H	Girar CCW (Rápido)
H	H	H	Parado (Freno)
H	P	L	Girar CW (Lento)
H	L	P	Girar CCW (Lento)

Fuente: (Motor Corriente Continua, s. a.)

Una vez realizada la simulación se procede con la elaboración de la placa impresa para el Control de los Motores. Para esto se diseña una placa, con los respectivos conectores de entrada/salida y leds de señalización.

En la Figura 3.15., se muestra la placa del circuito controlador de motores, diseñada en Proteus ARES. En tanto que, la Figura 3.16 corresponde a la placa electrónica construida con sus respectivos componentes, esta placa está depositada en una caja plástica para su protección.

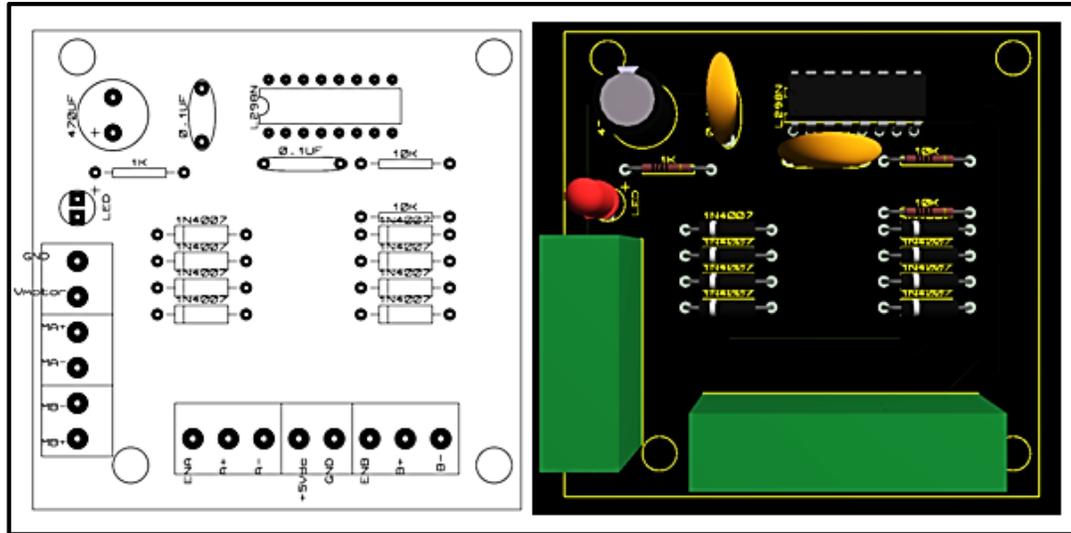


Figura 3.15. Diseño de placa electrónica, control de motores en Proteus.

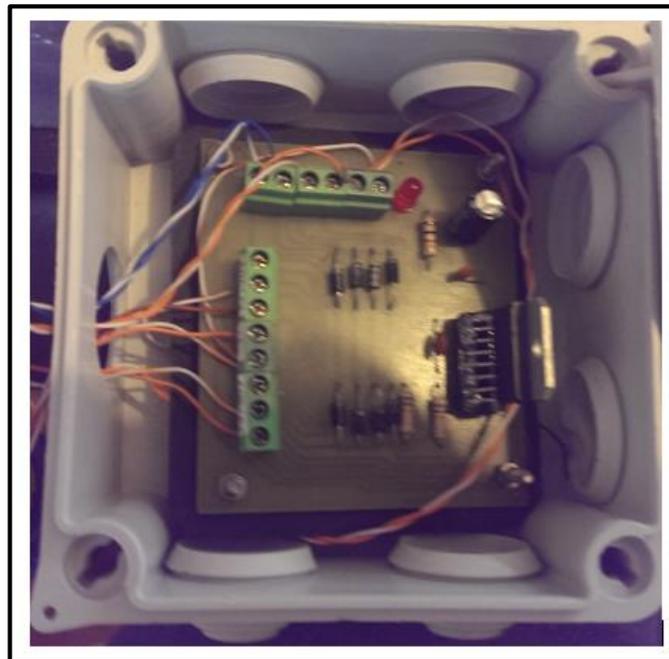


Figura 3.16. Placa Electrónica física del control de motores.

3.1.3.2. Placa adaptadora Dispositivo Final.

Para realizar las conexiones entre los sensores, los actuadores y los módulos de comunicación inalámbricos XBee Pro S2 con el microcontrolador PIC 18F4550 es necesario diseñar y construir una placa adaptadora, que posea:

- Un Adaptador para módulo XBee Pro S2.
- Un led de señalización para indicar q el dispositivo está unido a la red inalámbrica.
- Pines digitales de salida para activar los motores.
- Pines analógicos de entrada para la adquisición de datos de los sensores.
- Pine digital de entrada para leer el voltaje del sensor de temperatura.

En la Figura 3.17., se aprecia la placa del dispositivo final diseñada en el programa PCB Wizard.

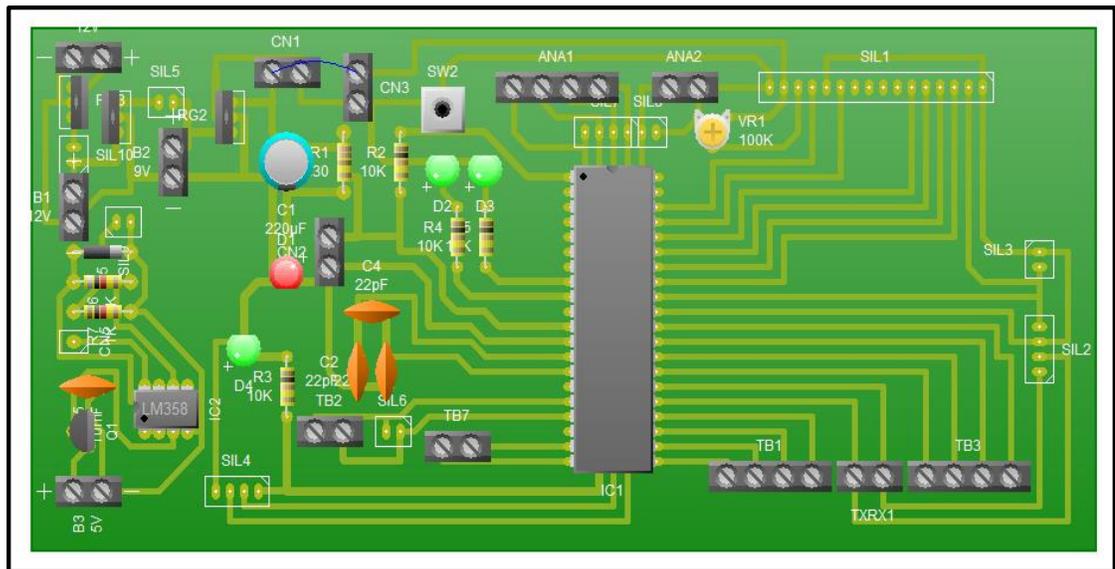


Figura 3.17. Placa Dispositivo Final PCB en Linewire.

En la Figura 3.18., se puede observar la placa electrónica física, montada con sus respectivos componentes, correspondiente al dispositivo final.⁴

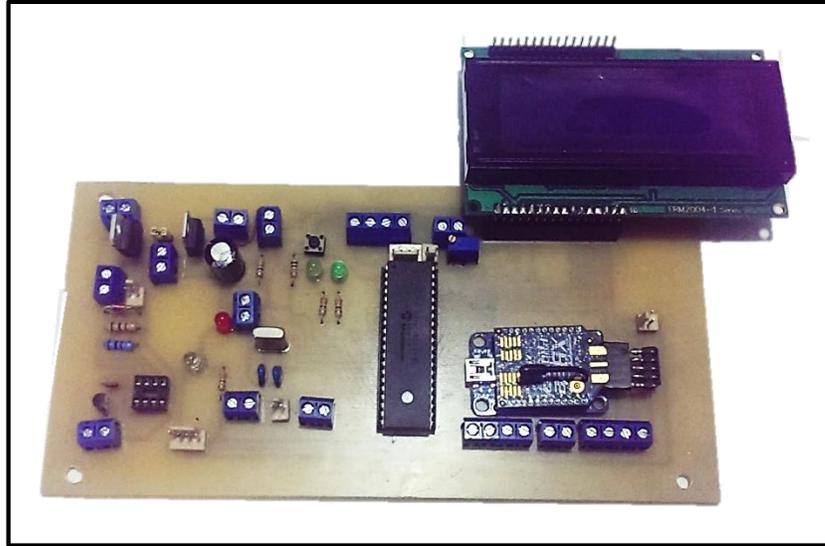


Figura 3.18. Placa Electrónica física del módulo dispositivo final.

3.1.3.3. Placa adaptadora Módulo Router.

El módulo Router funcionara como enrutador de la información entre el dispositivo coordinador que es el ordenador y el dispositivo final que es el módulo móvil acuático, por lo tanto se ha diseñado una placa adaptadora que contiene:

- El módulo XBee pro S2 Router.
- Un display LCD matricial de 20x4.
- Leds indicadores de estado.

En la Figura 3.19., se muestra la placa diseñada en el programa PCB Wizard correspondiente al módulo Router.

⁴ El LCD se puede desmontar y ubicarlo en cualquier otro lugar de la estructura del módulo, para una mejor visualización, esto se logra con la ayuda de cables DuPont (cables utilizados en circuitos y placas electrónicas).

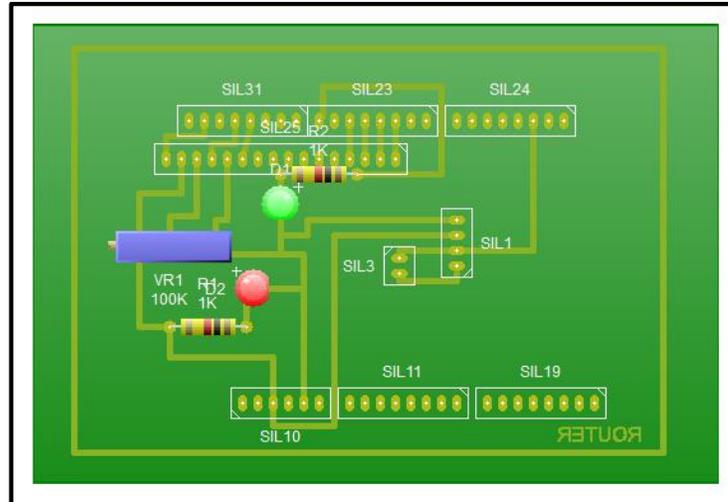


Figura 3.19. Placa módulo router en Linewire.

En la Figura 3.20., se puede observar la placa electrónica física, montada con sus respectivos componentes, correspondiente al módulo router.

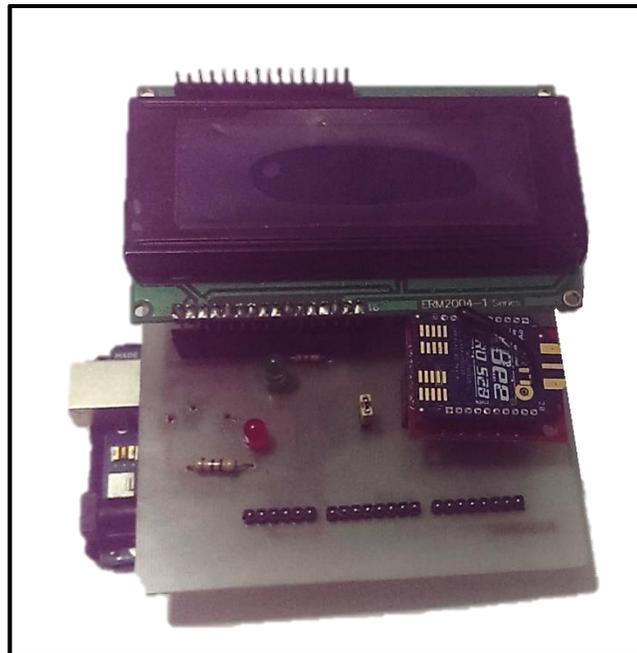


Figura 3.20. Placa Electrónica física del módulo router.

3.1.3.4. Placas de Sensores Hidrológicos.

En el Capítulo 2 describieron y se simularon los sensores a utilizar. En cada sensor se explicó su respectivo funcionamiento, ahora en este capítulo se describe el diseño de las placas, mediante la ayuda del programa PCB Wizard, el cual contiene la librerías PCB necesarias para el diseño de cada una de las placas de los sensores hidrológicos

Placa Sensor de Conductividad.

Para el diseño de la placa de medición de conductividad del agua, se establecieron los siguientes requerimientos (véase la Figura 3.21.):

- Pines para alimentación y salida de datos.
- Pines o borneras para acoplar la sonda de medición.
- Sócalos para montar los diferentes integrados.

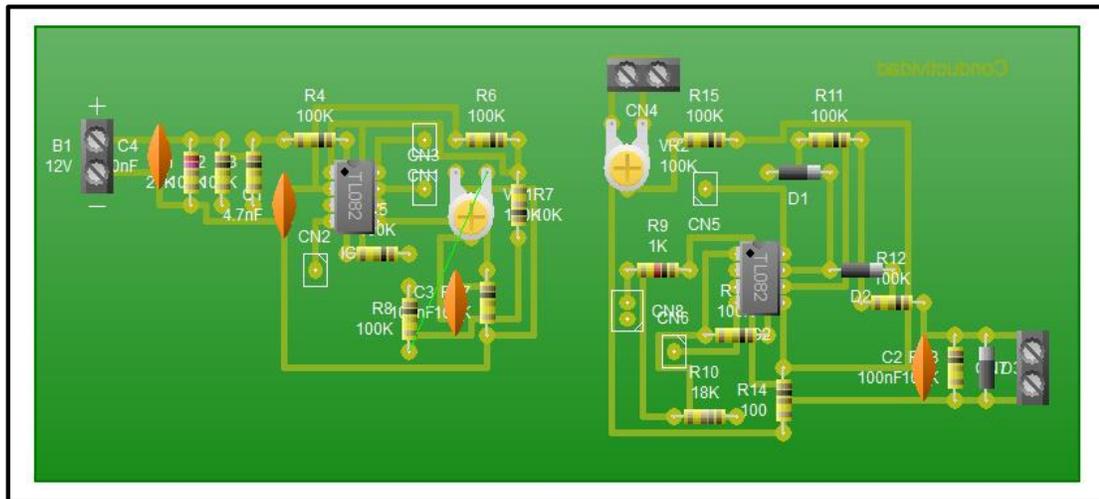


Figura 3.21. Placa Sensor de Conductividad en Linewire.

En la Figura 3.22., se puede observar la placa electrónica física, montada con sus respectivos componentes, correspondiente al sensor de conductividad.

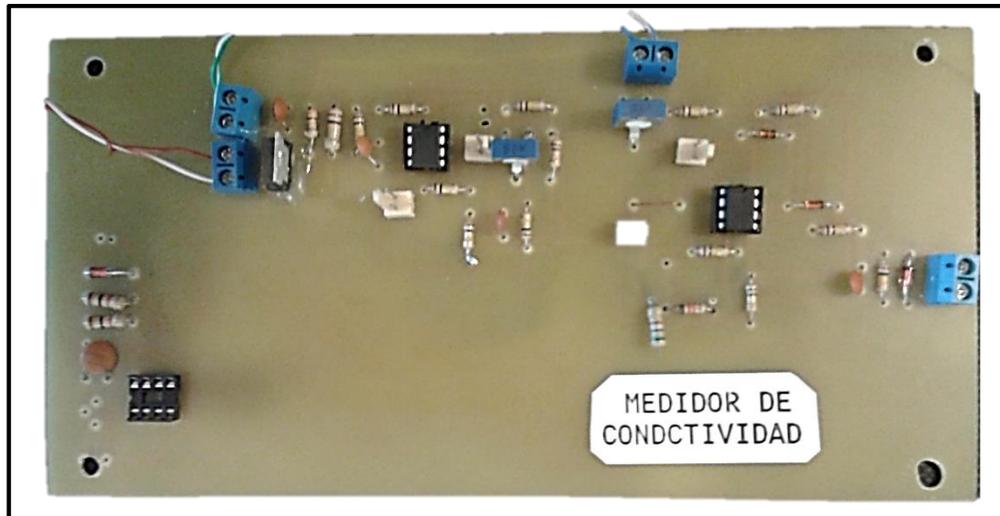


Figura 3.22. Placa Electrónica física del sensor de conductividad.

Placa Sensor de Turbiedad.

Para el diseño de la placa de medición de Turbiedad del agua, se establecieron los siguientes requerimientos (ver Figura 3.23.):

- Pines para alimentación y salida de datos.
- Pines para acoplar salida de led emisor de luz.
- Pines para acoplar fotodiodo receptor de luz.
- Sócalos para montar los diferentes integrados.

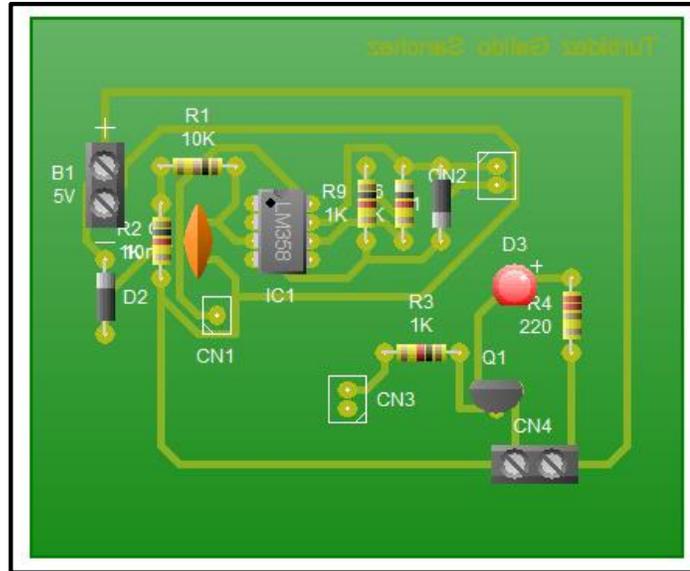


Figura 3.23. Placa Sensor de Turbiedad PCB en Linewire.

En la Figura 3.24., se puede observar la placa electrónica física, montada con sus respectivos componentes, correspondiente al sensor de turbiedad.

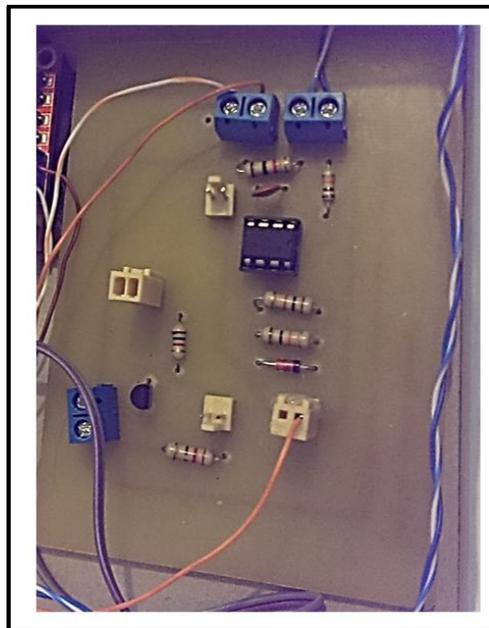


Figura 3.24. Placa Electrónica física del sensor de turbiedad.

3.1.3.5. Placa para controlador de carga de la batería.

La placa controladora de carga de batería, necesita de los siguientes requerimientos (véase la Figura 3.25.):

- Pines de entrada para carga de batería,
- Pines de entrada para alimentación del circuito.
- Indicadores de carga o descarga del circuito controlador de baterías.
- Pines de entrada para el panel solar.
- Sócalos para montar los diferentes integrados.
- La conmutación de estas entradas se realiza mediante los relés.
- Trimmers para regular el circuito de carga.
- Borneras.

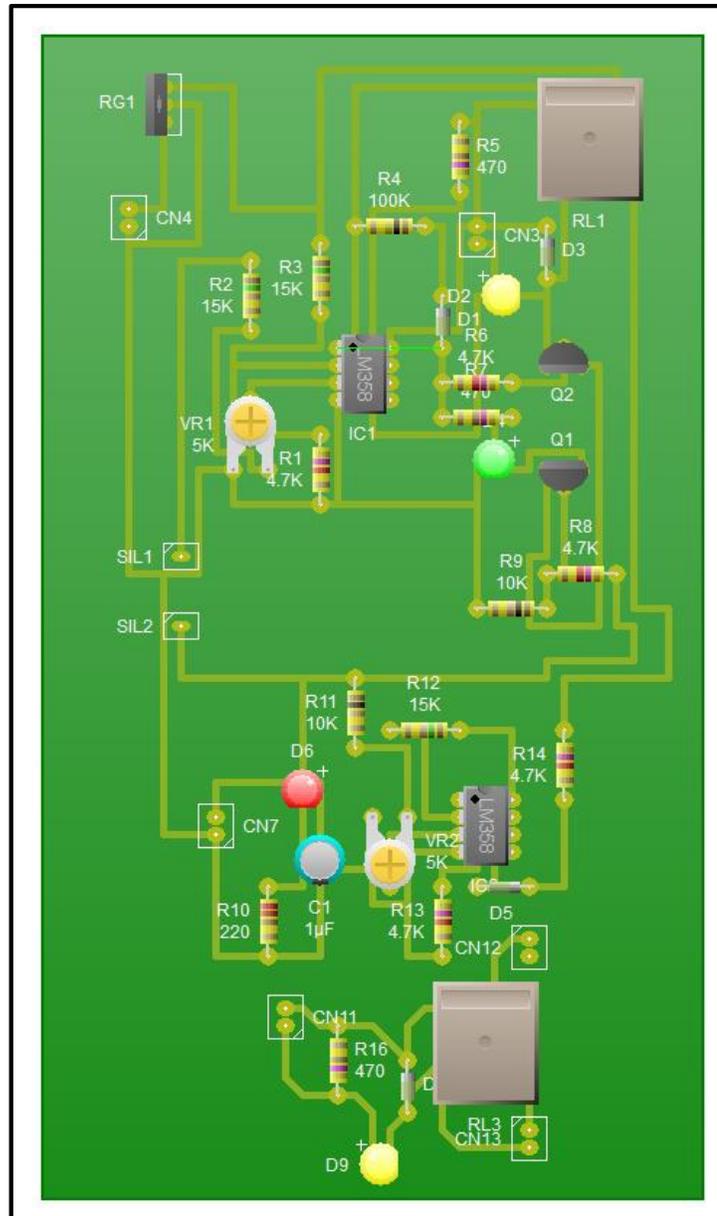


Figura 3.25. Placa Controladora de Carga de Batería en Linewire.

En la Figura 3.26., se puede observar la placa electrónica física, montada con sus respectivos componentes, correspondiente al controlador de carga de batería.⁵

⁵ La placa del control de carga de baterías está sujeta con pernos, tuercas y arandelas para proporcionarle soporte y mantenerla firme.

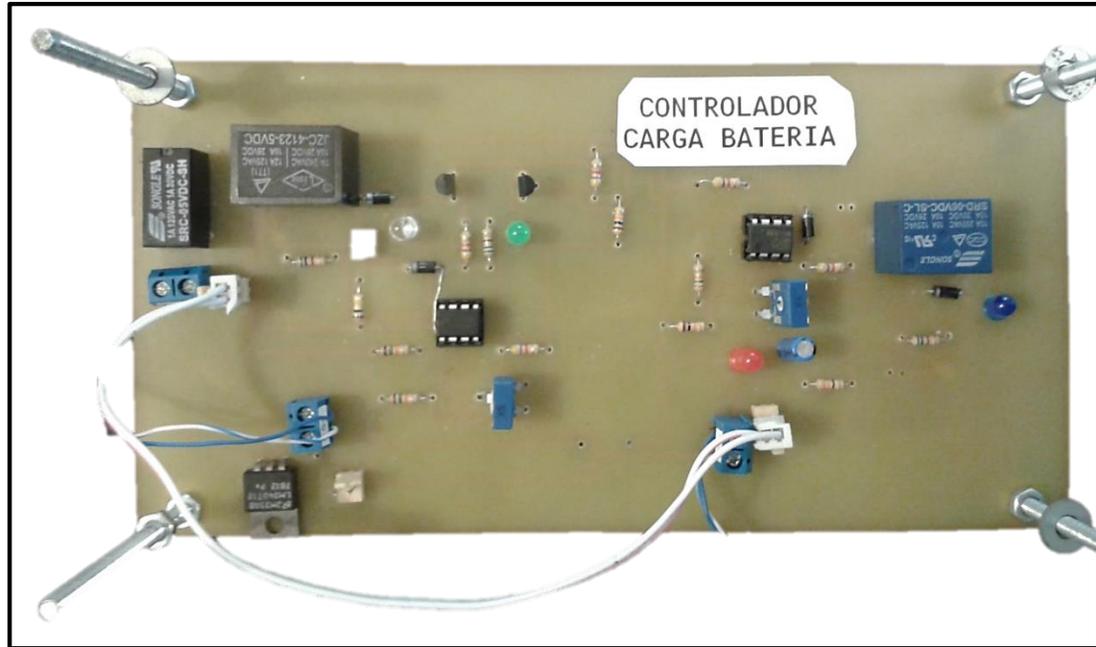


Figura 3.26. Placa Electrónica física del controlador de carga de batería.

3.1.4. Software de control para Módulo Móvil.

Para el control del módulo móvil se enviarán y recibirán los datos inalámbricamente a través de la red, todos estos datos de control viajarán en formato serial al módulo móvil. El microcontrolador PIC 18F4550 es el encargado de procesar toda la información, ya sea en la adquisición de datos de los sensores o en el control de los actuadores, en este caso los motores de corriente continua. A continuación se presenta el esquema de las etapas de control y las etapas de adquisición de datos del módulo móvil acuático (véase la Figura 3.27.).

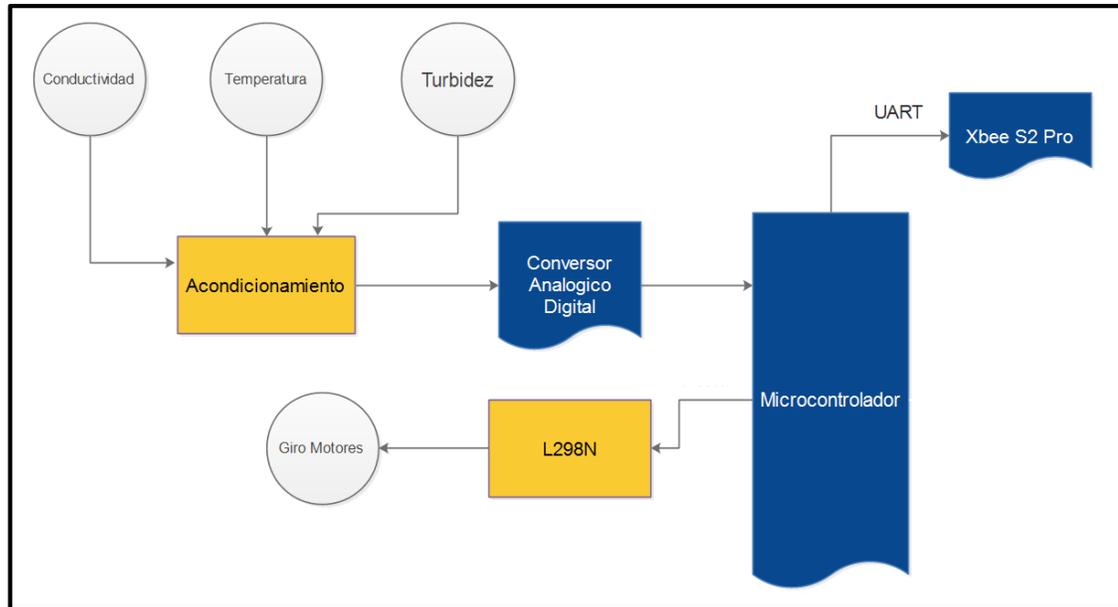


Figura 3.27. Esquema para el control del módulo acuático móvil.

3.1.4.1. Firmware control de movimientos.

Como ya se mencionó anteriormente, la información recibida por el módulo XBee, configurado como Dispositivo final es leída por el microcontrolador PIC 18F4550, el cual es el encargado de interpretar las tramas seriales, y tomar las decisiones según su programación. Puesto que el módulo se desplazará en todas las direcciones es necesario hacer el uso de sistemas de modulación PWM e inversión de giro de motores.

En este caso se han utilizado dos motores de corriente continua, y el integrado L298N, que ya fue descrito antes. El Modulo se desplazará en base a los siguientes movimientos: hacia adelante, atrás, izquierda, derecha, adelante-izquierda, atrás - izquierda, adelante - derecha, atrás - derecha. Para una mejor interpretación del manejo de las señales de control y desplazamiento se presenta un diagrama de flujo (véase la Figura 3.28.).

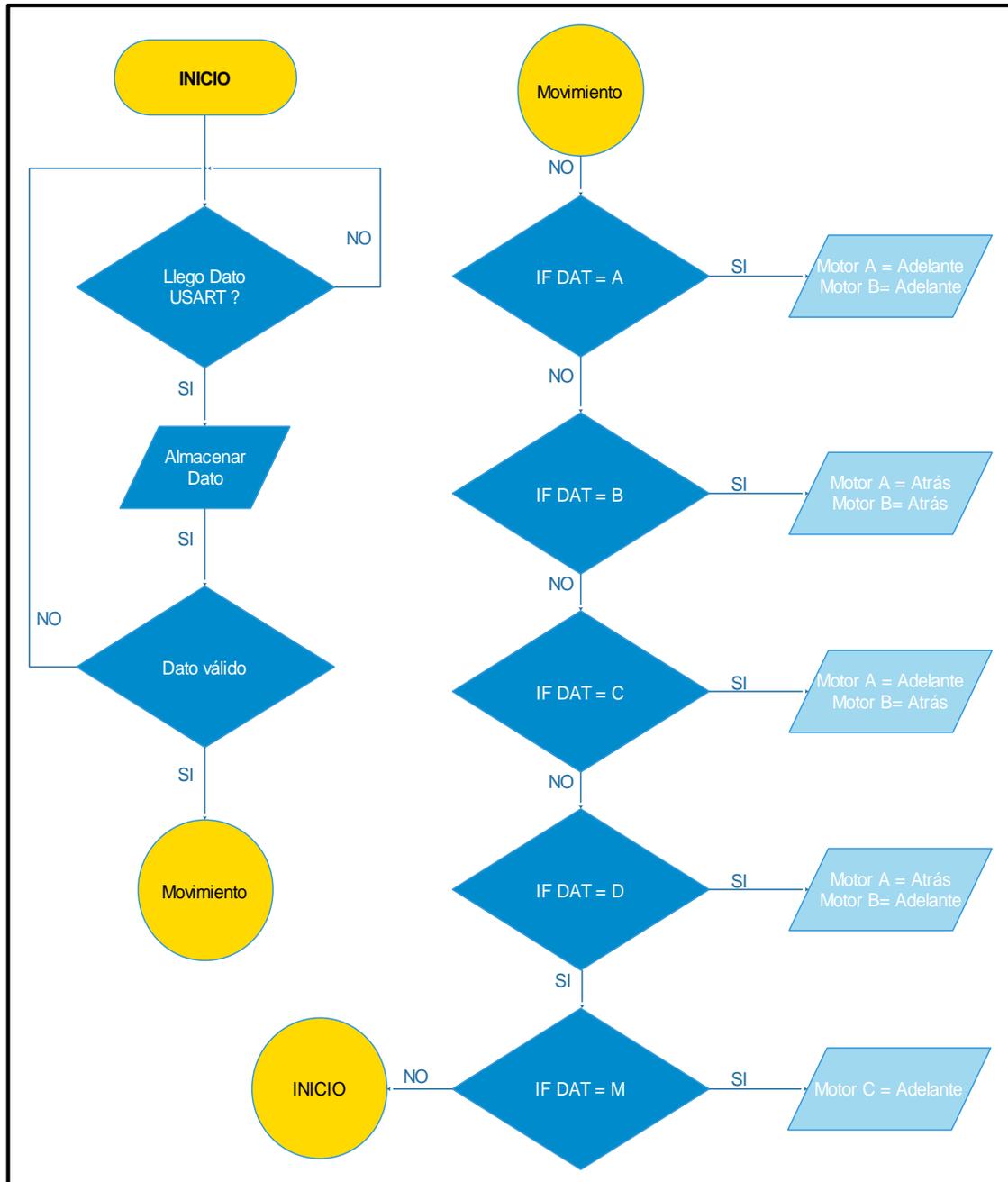


Figura 3.28. Diagrama de flujo de los movimientos del módulo móvil acuático.

3.1.4.2. Control PWM.

En el caso de que se desee variar la velocidad en el desplazamiento del módulo móvil acuático, es necesario hacer el uso de señales PWM, pues al utilizar un motor brushless se programa al microcontrolador con un tiempo de arranque (tren de pulsos) y empieza a funcionar el motor.

“La modulación por anchura de pulso, PWM (*Pulse Width Modulation*), consiste en generar una onda cuadrada en la que se varía el tiempo que el pulso está a nivel alto, manteniendo el mismo período (normalmente), con el objetivo de modificar la velocidad de un motor”.⁶

3.1.4.3. Firmware para manejo de sensores.

Para el manejo de los sensores se hará uso del convertidor analógico digital que posee el microcontrolador, puesto que se adquieren cuatro señales analógicas, se utilizarán cuatro canales o entradas del microcontrolador.

El proceso de adquisición de señales analógicas se presenta en siguiente diagrama de flujo (véase la Figura 3.29.).

Los datos son adquiridos por los cuatro primeros pines analógicos del microcontrolador, luego son almacenados en variables para su respectivo procesamiento, posteriormente dichos datos son agrupados, formando así una trama serial y finalmente son enviados inalámbricamente hacia el módulo XBee Pro S2.

⁶ Fuente: Control PWM. [En Línea]. Disponible en web: <http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm>. [Consultado: 19 de Marzo de 2015].

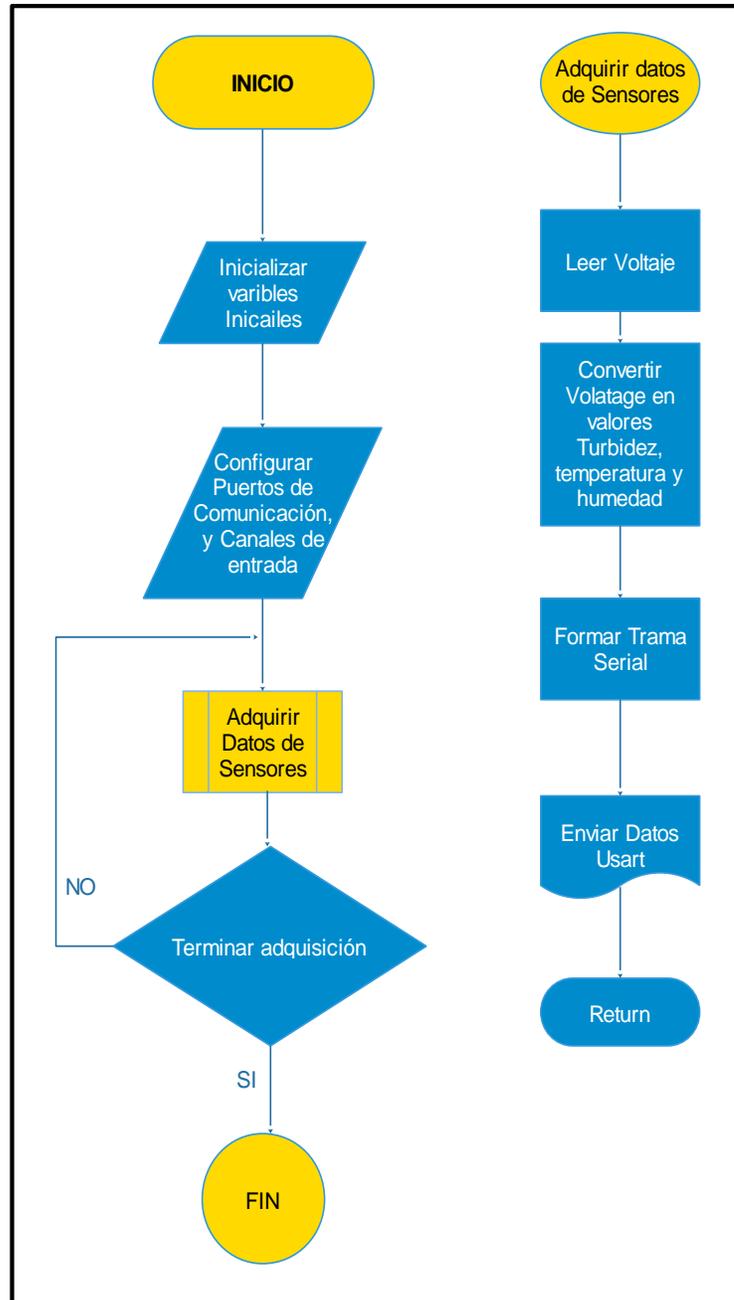


Figura 3.29. Diagrama de flujo de adquisición de señales del módulo móvil acuático.

3.2. Diseño mecánico.

A continuación se presenta los detalles de diseño del sistema móvil acuático, precisando el sistema de flotabilidad, chasis, diseño de la estructura y sistema de dirección. Para el diseño y construcción de la estructura del sistema móvil acuático, el módulo debe contar con ciertos requerimientos del sistema para un óptimo funcionamiento.

Los requerimientos del sistema mecánico deben ser:

- Estar preparado para trabajar en grandes espacios acuáticos (lagos, piscinas, plantas de tratamiento grandes fuentes, etc.).
- Proteger la circuitería electrónica la mejor forma posible.
- No requerir de continuo mantenimiento.
- Su durabilidad, tener una vida útil considerable.
- Trabajar a la intemperie.
- No afectar ni contaminar de ninguna manera el entorno en el que trabaja.

3.2.1. Diseño de Estructura.

Un factor importante es analizar el entorno en el que trabaja el sistema, ya que no es lo mismo que trabaje en interiores, a que trabajar a la intemperie. Puesto que el sistema está orientado a funcionar en grandes extensiones de agua, se encontrará a la intemperie por lo que se debe buscar materiales resistentes, pero a la vez livianos para evitar que el módulo se hunda.

Analizando los distintos tipos de materiales, se descartó utilizar madera, ya que su resistencia en situaciones de lluvia no es buena, al estar en contacto con el agua su deterioro es inminente. El plástico también fue descartado, debido a su consistencia no es un material resistente a choques con ciertos objetos y no brinda la suficiente protección.

Por último se decidió utilizar hierro galvanizado, templado, este es un material que brinda buenas características para el sistema. Al ser un material galvanizado, es resistente al agua y a la corrosión, como es hierro templado ofrece poco volumen en peso y una fácil maleabilidad, y también es bastante robusto y resistente a golpes.

Básicamente el sistema mecánico consta de un chasis trapezoidal. Este sirve de soporte principal en la estructura del sistema. Adicional a esto cuenta con un panel fotovoltaico ubicado en la parte superior de la superficie. La estructura deberá tener el espacio suficiente para almacenar todos los componentes de control del sistema, como lo son: batería, sensores, actuadores y los circuitos electrónicos para el sistema de control.

3.2.1.1. Diseño y Construcción Chasis.

Para la construcción del chasis, primero se diseñó el modelo en el software de diseño asistido por computadora AutoCAD 2012. Las dimensiones del módulo son 28 cm de largo, por 22 cm de ancho por 16,5 cm de alto. Estas dimensiones fueron determinadas según los componentes que están dentro del módulo tomando en cuenta sus cajas contenedoras y sistema de baterías (ver Anexo 1, diseño del chasis del módulo acuático).

Una vez diseñado el chasis se procede a la construcción del mismo, como ya se mencionó en antes, el material a utilizar para formar la estructura del módulo móvil es el hierro galvanizado. Los pasos a seguir para formar la estructura son:

1. Se plasma las líneas de corte sobre la plancha de hierro.
2. Se procede al corte de la plancha para formar la estructura, esto se realiza con una tijera para metal y con la ayuda de una entenalla sujetadora, con esto se va dando la forma al chasis (véase la Figura 3.30.).
3. Se procede al ensamblado de la estructura, utilizando tornillos auto-perforables para aluminio., quedando así formado el chasis (ver la Figura 3.31.).



Figura 3.30. Corte de la plancha de hierro galvanizado, estructura del chasis.



Figura 3.31. Ensamblaje de la estructura del chasis, del módulo móvil acuático.

Se procede agujerear y ensamblar las estructuras plásticas contenedoras de los motores y cables de conexión, ubicadas a los costados del módulo, así como también de la estructura contenedora de los sensores situada en la parte posterior del módulo, esto se puede apreciar en la Figura 3.32.



Figura 3.32. Ensamblaje de la estructura, soporte del chasis del módulo móvil acuático.

La parte superior de la estructura, está destinada para colocar el panel solar, este será igualmente sujetado mediante tornillos y pegamento térmico (véase la Figura 3.33.).



Figura 3.33. Ensamblaje del panel solar en la estructura del chasis, del módulo móvil acuático.

3.2.2. Flotabilidad.

Para que el módulo flote en el agua, es necesario, usar un material que a más de emerger, pueda soportar el peso del módulo. Se experimentó con distintos materiales, como madera, plástico, espuma flex y una boya tubular de caucho. Por lo tanto, se determinó que el material con mejores resultados para el sistema de flotabilidad fue la boya tubular de caucho ya que esta soporta el peso de sistema y se adapta a la forma que se desee (véase la Figura 3.34.).

Adicional a la boya, se colocó bajo la estructura una tabla de espuma flotante para que ayude a dar estabilidad y así evitar se sumerja demasiado en el agua (véase las Figuras 3.34. y 3.35.).

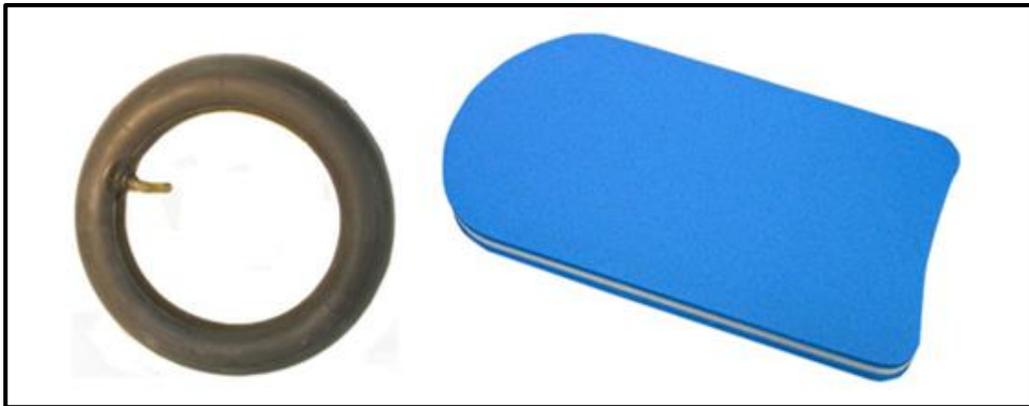


Figura 3.34. Sistema de Flotabilidad, boya tubular de caucho y tabla de espuma flotante.



Figura 3.35. Sistema de Flotabilidad del módulo móvil acuático.

3.2.3. Navegación y Maniobrabilidad del Prototipo.

La movilidad del robot se proporciona mediante dos motores de corriente continua. Los motores de corriente continua son fáciles de controlar en cuanto a su velocidad, estos motores se controlan por PWM que ya se vio en el punto anterior.

Al utilizar la variación del ancho de pulso, se controla la velocidad sin variar el par motor. La tensión máxima es de 12V generando 300 RPM. En esta implementación, los motores se alimentan a 9V, reduciendo así la velocidad final del robot sin desaprovechar tensión de alimentación no necesaria.

Los motores se controlan desde el microcontrolador PIC 18F4550, cuyos pines de salida proporcionan 5V, por lo que se utiliza el driver de potencia L298N para proporcionar la misma tensión a la que se proporciona en las baterías principales (9V).

El módulo cuenta con dos hélices acopladas a los motores como se muestra en la Figura 3.36. Si ambos motores giran a la misma velocidad y en el mismo sentido, el módulo se desplaza hacia adelante en forma perpendicular a las hélices. Y si los dos motores giran en sentido contrario, el módulo se desplaza hacia atrás.

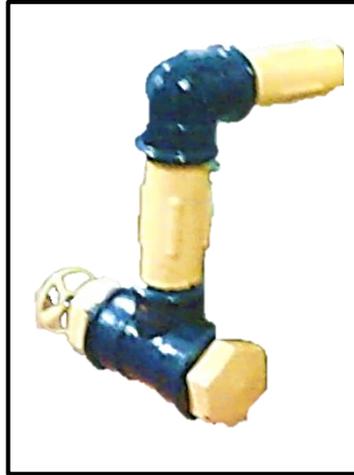


Figura 3.36. Acoplamiento de hélices a la estructura del módulo móvil acuático.

Para el giro a la izquierda o derecha del módulo basta con disminuir la velocidad en él un motor, esta diferencia hará que el motor gire, para cualquiera de los dos lados (véase la Tabla 3.5.).

Tabla 3.5. Giro de los motores.

Giro de Hélice 1	Giro de Hélice 2	Movimiento del Módulo
Anti horario	Anti horario	Adelante
Anti horario	Horario	Derecha
Horario	Anti horario	Izquierda
Horario	Horario	Atrás

La velocidad o PWM a enviar para conseguir los distintos ángulos de giro del módulo se ha realizado experimentalmente.

3.2.4. Seguridad y Protección del prototipo.

El principal inconveniente en estos tipos de sistemas es que tiene que trabajar a la intemperie y en situaciones de riesgo, de daño o hundimiento. Por estas razones es importante la protección y aislamiento del prototipo.

Puesto que el módulo se desplazará en superficies acuáticas, los motores de propulsión fueron aislados mediante tubos de plástico y vaselina como se puede apreciar en la Figura 3.37., la cual permite el giro del eje del motor y a la vez lo aísla.

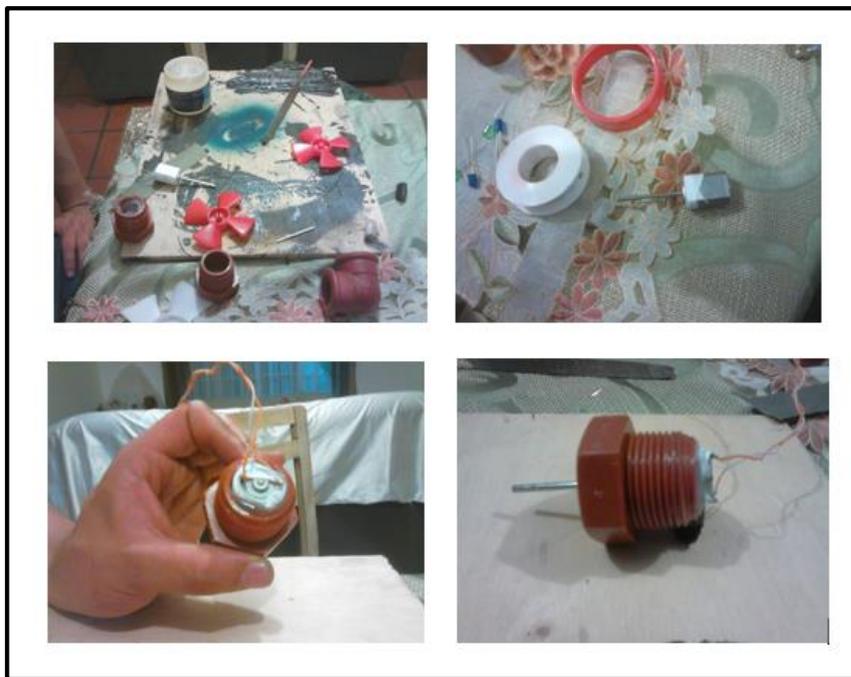


Figura 3.37. Aislamiento de los motores del módulo móvil acuático.

Es necesario colocar los dispositivos electrónicos en cajas plásticas selladas. Es importante sellar o impermeabilizar el módulo, para esto se utilizó silicón frío, esto se muestra en la Figura 3.38., y adicionalmente si se desea más aislamiento se puede colocar los circuitos es dentro de protectores plásticos.



Figura 3.38. Aislamiento del módulo móvil acuático (silicón frío).

Por último se procede al pintado y el acople del motor brushless en la parte posterior del módulo móvil, el resultado final del prototipo se puede apreciar en la Figura 3.39.

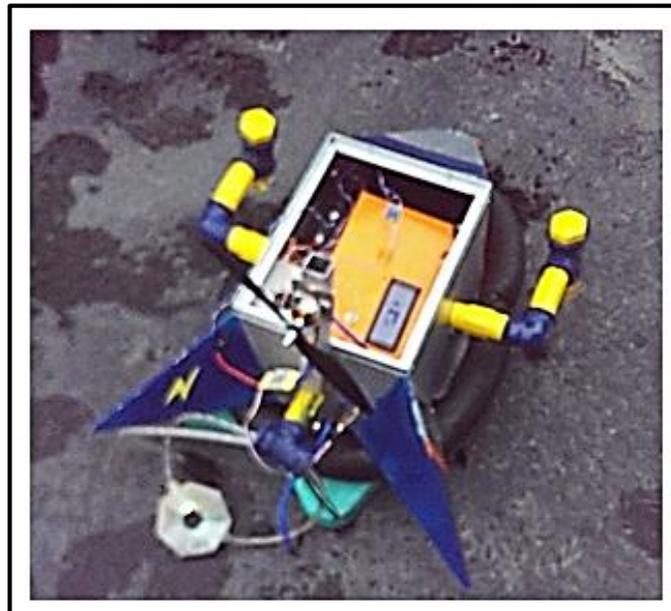


Figura 3.39. Módulo móvil acuático.

3.3. Interfaz Gráfica de Usuario.

Para el control y monitoreo de las variables del sistema se utiliza la interfaz gráfica virtual denominada LabVIEW, misma que nos permite visualizar desde un panel frontal los diferentes variables medidas, así como el control de los motores. Cuenta a su vez con un diagrama de bloques que es donde se desarrolla la programación del sistema.

3.3.1. LabVIEW

Es una interfaz gráfica de programación basada en lenguaje G, cuyo nombre se deriva de (*LABoratory Virtual Instrumentation Engineering Worrkbench*). Los programas realizados en LabVIEW se denominan VIs, (Instrumento Virtual) y consta básicamente de:

Panel Frontal que es la interfaz de usuario, donde encontraremos indicadores y controles de tipo numéricos, booleanos, de tipo string, gráficos, etc., los cuales se utiliza para simular el control y la visualización de las diferentes variables del sistema.

Diagrama de Bloques que es donde se ejecuta el programa en lenguaje G, ahí se puede programar las diferentes funciones, mediante la representación de código en bloques. Cuenta con una paleta de funciones donde destacan funciones como: matemáticas, comparativas, estructurales, de medición, etc.

3.3.2. Desarrollo de interfaz gráfica.

A continuación se presenta la interfaz de usuario basada en LabVIEW 2014, no es necesario de algún diagrama de flujo, pues al ser un entorno gráfico la programación se realiza por bloques.

3.3.2.1. Panel Frontal Interfaz gráfica.

El panel Fontal nos permite la visualización y el control de datos, al realizar la comunicación bidireccional del ordenador con el módulo dispositivo final.

Los datos que son recolectados por los sensores se visualizan en una especie de osciloscopio virtual llamado “Waveform Chart”, en tanto que para el control de la dirección de los motores se activa los respectivos “pulsantes”.

Para una mejor apreciación de los indicadores y controles del entorno gráfico, se utiliza dos ventanas referentes al panel frontal. En la primera ventana llamada “PRESENTACIÓN” (ver Figura 3.40. esquina superior izquierda) se muestra la presentación del proyecto, la información de los autores y también la configuración del puerto serial antes de ejecutar el software (ver Figura 3.40.).



Figura 3.40. Panel frontal, portada del proyecto.

Como primer paso, es importante seleccionar el puerto de comunicación respectivo, antes de ejecutar el programa, pues si no reconoce el puerto no se puede establecer la comunicación (ver Figura 3.41.).



Figura 3.41. Panel frontal, configuración del puerto serial.

Entre los parámetros destacan: el puerto de comunicación utilizado (seleccionar), la tasa de Baudios (9600), el número de bits de datos (8), los bits de paridad (no hace falta), los bits de detención (1), el control de flujo (no hace falta), y la demora en la lectura de datos (200ms). La mayoría de los parámetros viene por defecto, pero prestar mayor atención al puerto a seleccionar, pues al utilizar comunicación con otros dispositivos (bluetooth por ejemplo) puede producir errores en la comunicación.

En la siguiente ventana llamada “CONTROL”, está toda la interfaz gráfica para el monitoreo y control de parámetros del agua en una red de sensores inalámbricos (véase Figura 3.42.).

El switch palanca “habilitar”, permite habilitar o deshabilitar el control de los motores del módulo, el switch palanca “read” permiten habilitar la adquisición de señales de los sensores (véase Figura 3.42.).

Una vez ejecutado el programa, el control de los motores se realiza activando los respectivos pulsantes (ver Figura 3.43.).

- Pulsando el botón “FORWARD”, se logra que el módulo móvil se desplace en la dirección “hacia adelante”.
- pulsando el botón “REVERSE”, se logra que el módulo móvil se desplace en la dirección “hacia atrás”.
- pulsando el botón “RIGHT”, se logra que el módulo móvil se desplace en la dirección “hacia la derecha”.
- pulsando el botón “LEFT”, se logra que el módulo móvil se desplace en la dirección “hacia la izquierda”.



Figura 3.42. Panel frontal, monitoreo y control de parámetros del agua en una red de sensores inalámbricos.

La velocidad de los motores dependerá del tiempo que se mantengan activados los pulsantes que controlan la dirección del módulo.



Figura 3.43. Panel frontal, mando del módulo móvil.

Las mediciones de los datos adquiridos por los sensores en tiempo real, son visualizadas en Waveforms Charts (osciloscopios virtuales) con los nombres de “SENSOR DE TURBIEDAD”, “SENSOR DE TEMPERATURA” y “SENSOR DE CONDUCTIVIDAD” respectivamente (ver la Figura 3.42.).

Los indicadores gráficos “conductividad”, “turbiedad”, “temperatura” corresponden a los valores de voltaje de los sensores de conductividad, turbiedad, y temperatura respectivamente en tiempo real. Estos indicadores se sitúan en la parte superior de los indicadores gráficos antes mencionadas (ver la Figura 3.42.).

Los datos adquiridos por el sensor de turbiedad son mostrados en el indicador gráfico “SENSOR DE TURBIEDAD”, los indicadores leds inferiores se encienden conforme suba o baje el nivel de turbiedad del agua, además el control “Variable Turbiedad” permite calibrar el sensor y utilizar este valor como referencia para las mediciones a realizar, la calibración se debe hacer con el sensor fuera del agua antes de comenzar a sensar (véase la Figura 3.44). En las mediciones, si el nivel se encuentra entre el:

- 80% y 100 % de turbiedad se enciende “100% TURBIO”,
- 50% y 79 % de turbiedad se enciende “50% TURBIO”,
- 25% y 49 % de turbiedad se enciende “25% TURBIO”,
- 0% y 24 % de turbiedad se enciende “0% TURBIO”.



Figura 3.44. Panel frontal, nivel de turbiedad del agua.

Una vez obtenida la conductividad del agua, a partir del voltaje, se puede obtener el nivel de la salinidad, pues como ya se vio en el Capítulo 1, para su medición se utiliza las unidades PPM (Partes Por Millón).

Un indicador llamado “Salinidad” muestra en la Figura 3.45., el nivel de salinidad del agua, a su vez el indicador “PPM”, muestra el mismo valor de forma numérica.



Figura 3.45. Panel frontal, nivel de conductividad y salinidad del agua.

El monitoreo del estado del nivel de batería se visualiza en un indicador gráfico llamado “VOLTAJE DE LA BATERIA”, los indicadores gráficos “DESCARGADA”, “CARGANDO” y “CARGADA” permiten simular el estado del nivel de carga de la batería. Si el voltaje disminuye de cierto rango (3V), se enciende el indicador rojo, empezando el proceso de carga, cuando la carga se ha completado 100% se enciende el indicador verde. El porcentaje de carga se muestra en el indicador en forma de batería “CARGANDO” (véase la Figura 3.46.).

El programa se puede detener pulsando el botón “STOP” (ver Figura 3.42.).



Figura 3.46. Panel frontal, control de nivel de la carga de batería del módulo móvil.

3.3.2.2. Diagrama de Bloques Interfaz gráfica.

El programa se funciona dentro de un ciclo *While Loop*, este permite que el código se ejecute constantemente, por tal razón se creó un botón para detener el programa (STOP) cuando se desee. Para una mayor comprensión se ha visto conveniente la descripción de cada etapa con sus respectivos elementos.

Establecimiento de la Comunicación Serial.

Dado que se pretende comunicar con un microcontrolador desde el puerto serial (COMX) del computador a través de LabVIEW, se utiliza un paquete de herramientas llamado NI VISA, disponible en la página de fabricante.

Visa Configure Serial Port (ver Figura 3.47.), se encarga de iniciar la comunicación, y configurar parámetros como: el puerto serial a utilizar (COM 6), la velocidad de transmisión de baudios (9600), el número de bits entrantes (8) y otros parámetros que se mantienen por defecto. Estos elementos están cableados fuera del ciclo while, en tanto que los pines de “error” y “visa resource name” salida se cablean hasta el siguiente elemento visa.

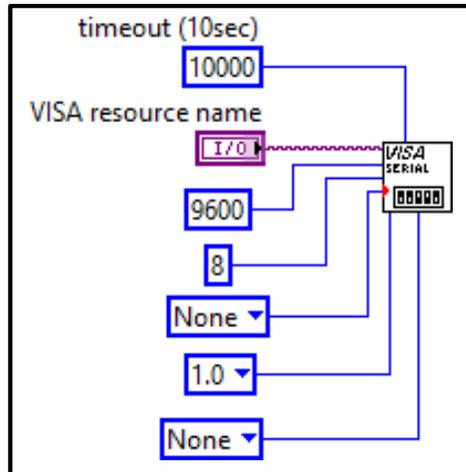


Figura 3.47. Diagrama de bloques, inicio de la comunicación mediante NI VISA.

Control de mando del módulo explorador.

Una vez que se establece la comunicación, el pulsante “Habilitar” activa o desactiva el control de mando del módulo explorador y un led verde se enciende/apaga conjuntamente. Si el pulsante fue activado, una “estructura case” exterior ejecuta el código de la Figura 3.48. En ella se observa que la estructura case interior contiene una serie de comparaciones que permiten el control del mando del módulo móvil. Las cinco estructuras “case” comparan si se activó el botón que indica la dirección del módulo, es decir indica si se pulsó el botón hacia la derecha, hacia arriba, hacia la izquierda, hacia abajo o se frenó. Dependiendo que botón se activó, si se cumple esta condición enviará un código alfanumérico “D”, “A”, “C”, “B”, “M” al microcontrolador respectivamente, para que este a su vez active o desactive los motores. El carácter “Y” permite informar si existe comunicación entre el dispositivo final y el router, físicamente en el módulo se enciende un led indicador.

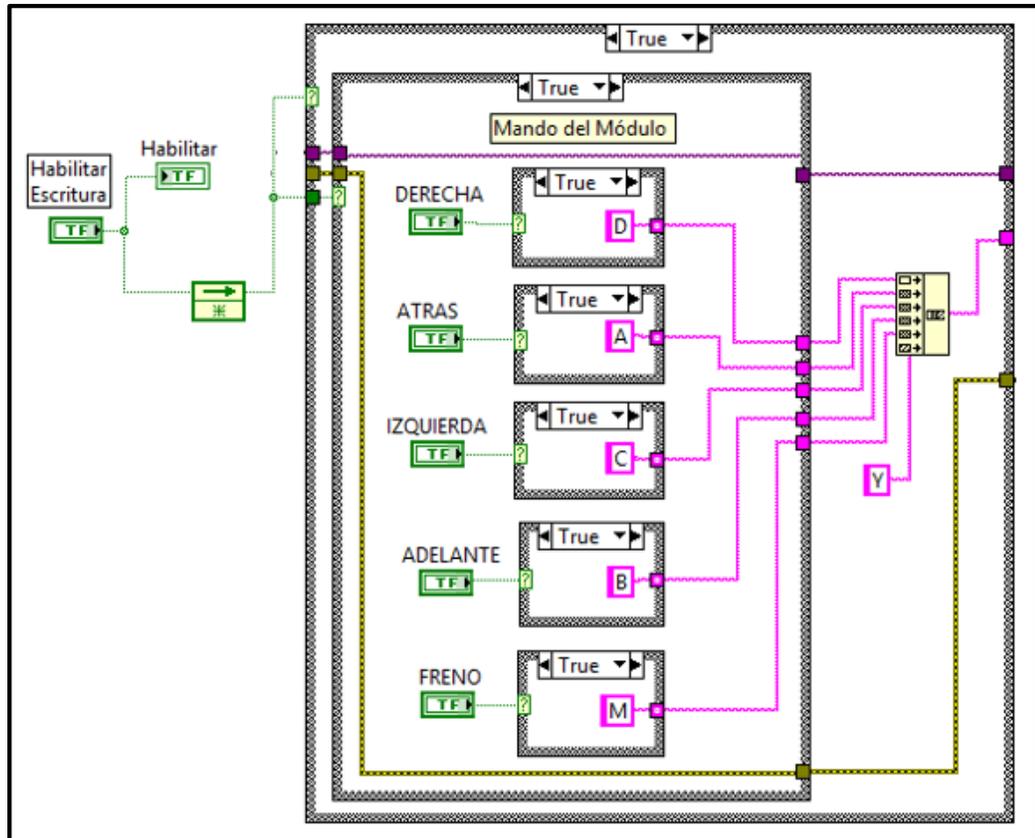


Figura 3.48. Diagrama de bloques, mando del módulo explorador.

El elemento de la Figura 3.49., concatena (agrupa) cadenas de caracteres o matrices 1D en una salida de cadena única.

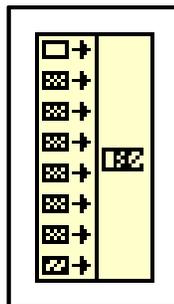


Figura 3.49. Diagrama de bloques, función concatenar.

Esta función es útil debido a que al enviar los caracteres alfanuméricos para el mando del módulo al microcontrolador es mejor enviarlos conjuntamente todos, empezando por la parte superior hacia la parte inferior, véase la Figura 3.48.

Escritura de datos al microcontrolador mediante LabVIEW.

En la Figura 3.50., los datos que han sido concatenados, son visualizado es un indicador de caracteres “*concatenated string*”.

VISA WRITE es una función que escribe los datos del buffer de escritura en el dispositivo o interfaz especificada por VISA *resource name*, es decir que gracias a VISA WRITE se enviarán los datos (caracteres alfanuméricos) al microcontrolador.

En la parte superior derecha de la Figura 3.50., se muestra una estructura “*Flat Sequence*”, que ejecuta una demora, permitiendo así, no se sature el puerto de comunicación y no exista conflictos cuando se está enviando y recibiendo datos al mismo tiempo.

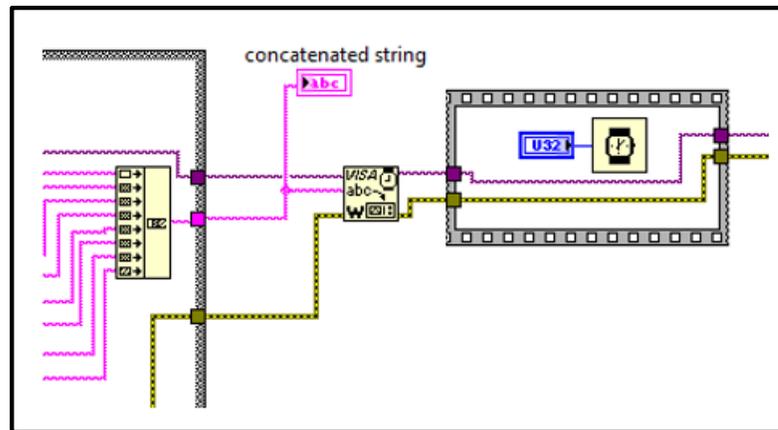


Figura 3.50. Diagrama de bloques, función VISA WRITE.

Lectura de datos del microcontrolador mediante LabVIEW.

Los datos que envía el microcontrolador son cadenas de caracteres acompañados de datos en formato alfanuméricos. En la Figura 3.51., el pulsante “read” sirve para activar o desactivar la recepción de datos por parte del microcontrolador. Si el pulsante está activado se ejecuta el código de la estructura case que se detalla en este punto y posteriormente.

Antes de que LabVIEW pueda interpretar los datos que recibe del microcontrolador, un “*property node*” se encarga de obtener el número de bytes que entran por el puerto serial. Estos bytes son visualizados en un indicador numérico “*bytes read*”, y posteriormente son cableados a VISA READ.

VISA READ es una función que lee un número específico de bytes desde el dispositivo (microcontrolador) por VISA *resource name* y almacena los datos en el búfer de lectura en formato string. Estos datos son visualizados en un indicador tipo string “*read string*” y “*read buffer*”.

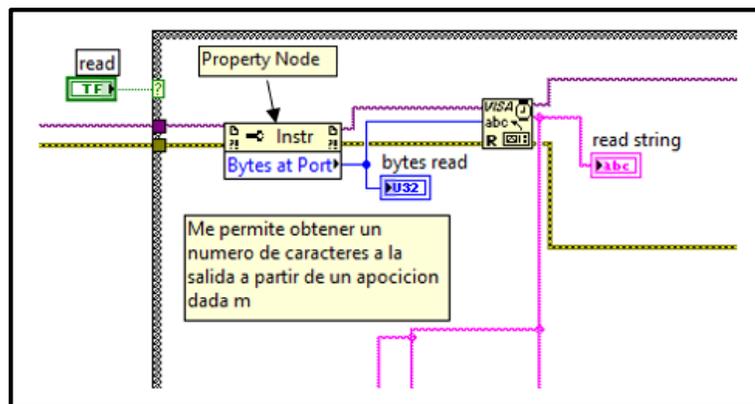


Figura 3.51. Diagrama de bloques, función VISA READ.

En la Figura 3.51., los datos del microcontrolador que son visualizados en un indicador “*read buffer*”. Ya que el microcontrolador envía los datos como cadena de caracteres acompañado de datos alfanuméricos. Es decir que envía un “*” acompañado de datos alfanuméricos, luego un “+” acompañado de datos alfanuméricos, también un “-” acompañado de datos alfanuméricos y un “#” acompañado de datos alfanuméricos.

La función llamada “*String Subset*” conjuntamente con la estructura exterior case de la Figura 3.52a compara si efectivamente llega un “ * ” del microcontrolador, es decir que toma y compara el primer dato ubicado desde la posición 0 con un asterisco, en ese caso toma únicamente los seis datos a partir del “ * ” y los transforma en números de tipo *double* es decir con decimales y se hace un cálculo matemático para obtener un voltaje (relación de ADC, resolución de 1024 bits, voltaje 5V) que se muestra en la Figura 3.52.a.

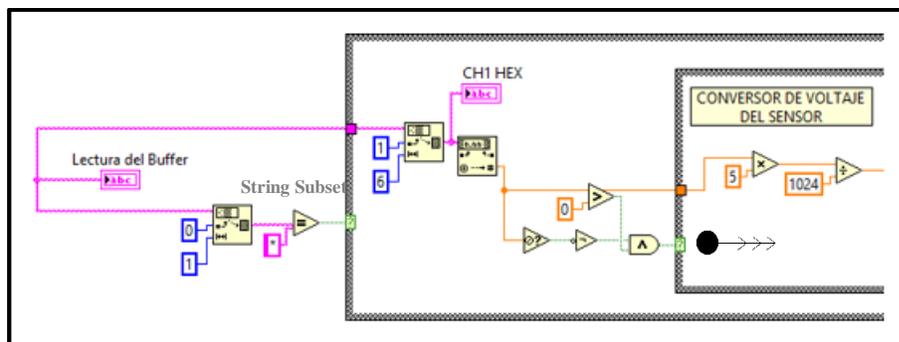


Figura 3.52.a. Diagrama de bloques, lectura y conversión de datos, sensor del Conductividad.

En la Figura 3.52.b. una vez obtenido el voltaje en corriente continua, se realiza un cálculo matemático, para tener una relación del voltaje en corriente alterna (multiplica por 3, y divide entre 2,6), luego se obteniendo la resistencia (divide para el valor de la ganancia de resistencia 2170Ω). Con este dato se puede obtener la corriente del fluido mediante la división entre 0,84⁷ para el valor de resistencia (ley de ohm), si se realiza el recíproco de este valor, se obtiene la conductividad del fluido en Siemens.

⁷ El valor 0,84 corresponde al voltaje en corriente alterna que se le está aplicando a la sonda de medición.

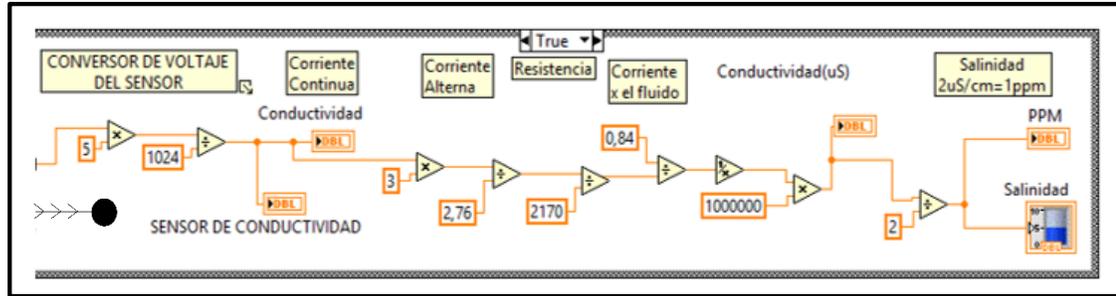


Figura 3.52.b. Diagrama de bloques, cálculos para valores de datos del sensor de Conductividad y Salinidad.

Para obtener la salinidad en PPM basta con dividir entre 2 el valor de la conductividad en (uS) ya que la relación entre la conductividad y la salinidad es:

$$\frac{2\mu\text{S}}{\text{cm}} = 1\text{ppm} = \frac{2\text{mg}}{\text{l}}$$

El procedimiento mencionado anteriormente con el sensor de conductividad se repite en la Figura 3.53a., con la diferencia de que en la estructura case exterior compara si efectivamente llega un “+” del microcontrolador, Sí es así, realiza el procedimiento anterior y obtiene un voltaje (relación de ADC, resolución de 1024 bits, voltaje 5V) que se muestra en la Figura 3.53.a.

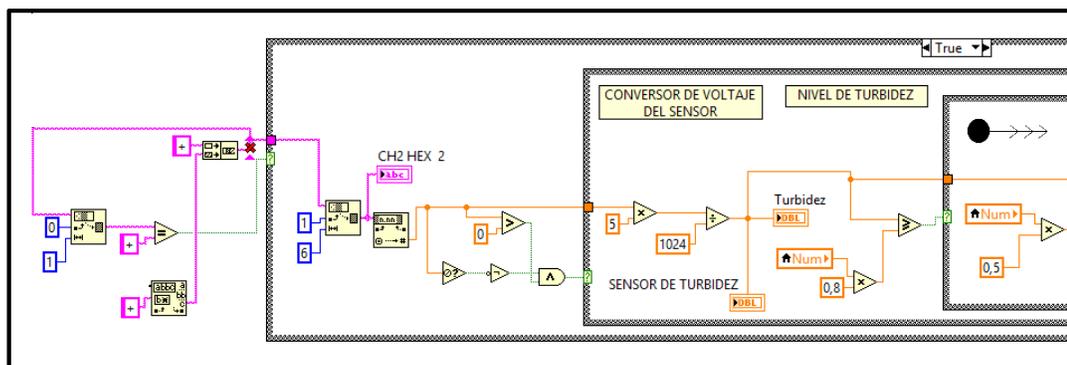


Figura 3.53a Diagrama de bloques, lectura y conversión de datos, sensor de Turbiedad.

Las estructuras case interiores realizan una comparación entre el voltaje obtenido, y el nivel de voltaje que se mostrará en la interfaz gráfica. Es decir que, si el voltaje leído por el sensor de turbiedad se encuentra entre el 0 y 24,9% de un valor de referencia (variable de nombre Num) se encenderá un led indicador “0% TURBIO”, si el voltaje leído por el sensor de turbiedad se encuentra entre el 25 y 49,9% de un valor de referencia (variable de nombre Num) se encenderá un led indicador “25% TURBIO”, si el voltaje leído por el sensor de turbiedad se encuentra entre el 50 y 79,9% de un valor de referencia (variable de nombre Num) se encenderá un led indicador “50% TURBIO” y si el voltaje leído por el sensor de turbiedad se encuentra entre el 80 y 100% de un valor de referencia (variable de nombre Num) se encenderá un led indicador “100% TURBIO” véase la Figura 3.53b y la Figura 3.44.

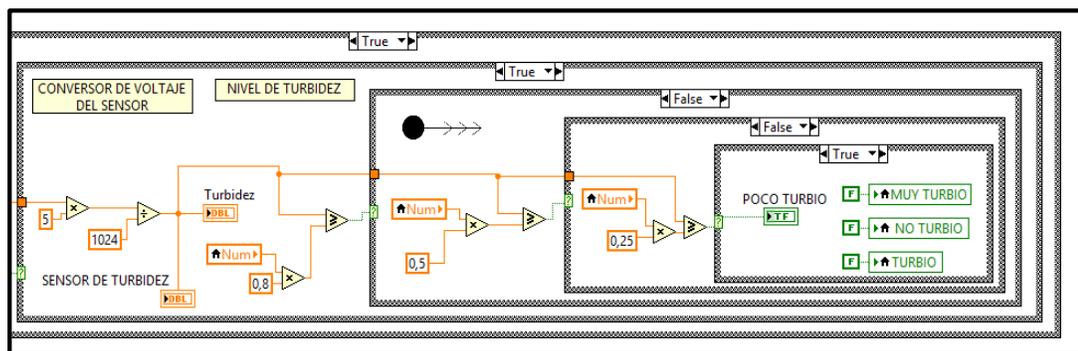


Figura 3.53.b. Diagrama de bloques, cálculos para valores de datos y nivel del sensor de Turbiedad.

En la Figura 3.54.a., se repite los procesos anteriores, con la diferencia de que en la estructura case exterior compara si efectivamente llega un “-” del microcontrolador, Sí es así, realiza el mismo procedimiento antes mencionado y obtiene un voltaje (relación de ADC, resolución de 1024 bits, voltaje 5V).

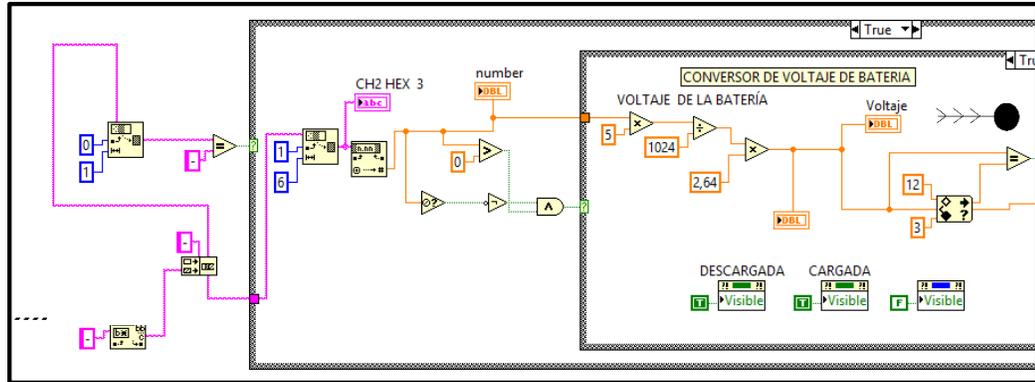


Figura 3.54.a. Diagrama de bloques, lectura y conversión de datos del nivel de la Batería.

Una vez obtenido el voltaje en un rango de 0 a 5V, este es multiplicado por una constante de 2,56 (regla de tres para obtener un voltaje de 12,4V.⁸). Si el voltaje de la batería baja de 10 V, entonces se comienza a cargar la batería, para ello se visualiza un indicador led rojo “DESCARGADA”, si el voltaje sobrepasa los 12V entonces un indicador led verde se enciende llamado “CARGA”. Adicional a eso una simulación de carga de la batería se muestra en la parte derecha de la Figura 3.54b, para ello se utiliza una secuencia de imágenes moviéndose rápidamente, esto con la ayuda de un bucle for y la herramienta Pic Ring (ver Figura 3.54.b. y también Figura 3.46.).

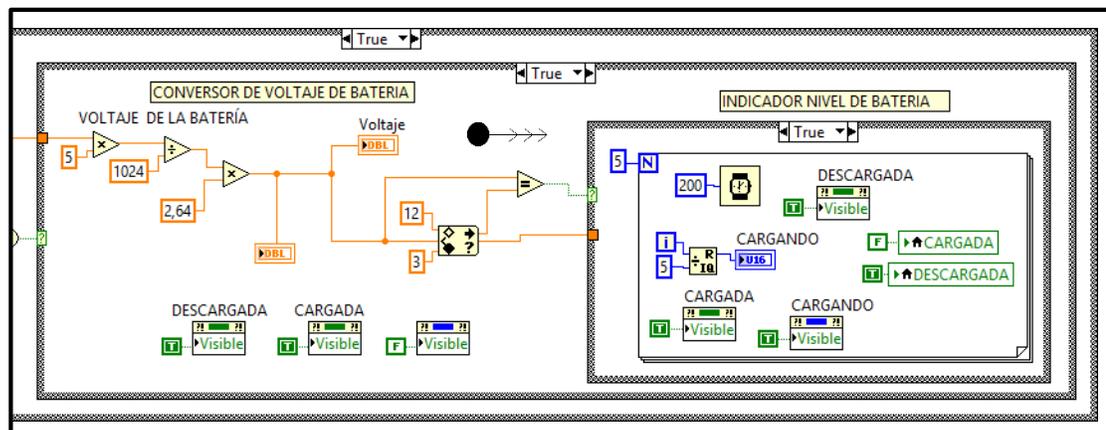


Figura 3.54.b. Diagrama de bloques, cálculos para valores de nivel de carga o descarga de la Batería.

⁸ 12,4V es el voltaje de la batería utilizada por el módulo móvil, por lo tanto al obtener a la salida del microcontrolador un voltaje máx. de 5V es necesario realizar una regla de tres en función de la variación de voltaje.

Finalmente en la Figura 3.55., se repite los procesos anteriores, con la diferencia de que en la estructura case exterior compara si efectivamente llega un “#” del microcontrolador, Sí es así, realiza el mismo procedimiento antes mencionado y obtiene un voltaje (relación de ADC, resolución de 1024 bits, voltaje 5V). Debido a que se está utilizando una sonda de temperatura, es necesario calibrarla, por ello se realiza un cálculo matemático (dividir por 16, esto por los bits de resolución del sensor), para obtener la temperatura aproximada a la que se encuentra.

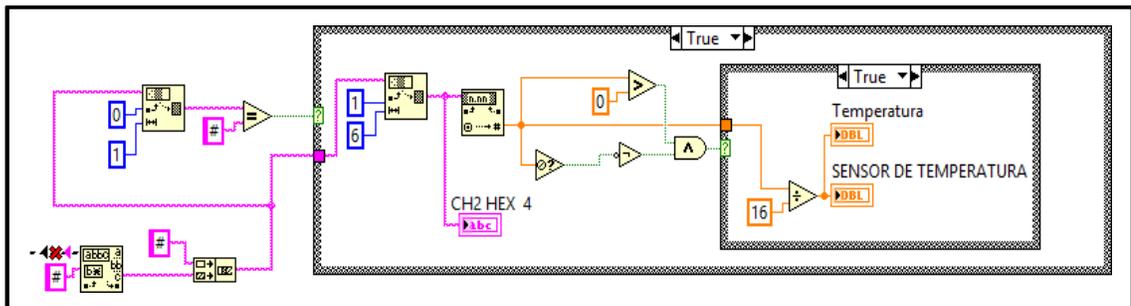


Figura 3.55. Diagrama de bloques, lectura y cálculos para calibración de los valores del sensor de Temperatura.

CAPÍTULO IV.

IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS BASADO EN EL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4/ZIGBEE.

En este capítulo se realiza la implementación del prototipo a utilizar, además, se describe el tipo de enlace que se utiliza para formar la red de sensores inalámbricos y el funcionamiento de los equipos para formar la red de sensores inalámbricos. Por consiguiente se realiza la programación de los módulos de radiofrecuencia. Finalmente se realiza las respectivas pruebas, presentación de resultados y conclusiones respecto a todo el sistema.

4.1. Módulos XBee.

En el Capítulo 1 se mencionó el concepto de ZigBee, dejando en claro que se trata de un estándar (protocolo) destinado a reglamentar el desarrollo de redes personales inalámbricas (WPANs), encargado de establecer una comunicación confiable mediante un enlace de radiofrecuencia.

XBee se refiere a los módulos inalámbricos pertenecientes a la empresa Diggi, es decir es el hardware físico que permite realizar un enlace de comunicación. Existen algunos tipos de módulos XBee en el mercado, sin embargo los utilizados en este trabajo son los de la serie Pro S.

4.1.1. Descripción de los módulos RF XBee.

Los XBee's son pequeños módulos capaces de comunicarse de forma inalámbrica unos a otros. Pueden reemplazar un cable serial o formar una red más compleja.

4.1.1.1. Hardware Módulos XBee Series 2.

La Serie 2 utiliza un microchip de Ember Networks⁹, que habilita diferentes tipos de estándares de red ZigBee, basados en la creación de redes de malla (Mesh networking). Las redes de trabajo malla (mesh) son el corazón de la creación de una redes de sensores robustos.

Digi acaba de lanzar la nueva serie 2B. Las características de la serie 2B incluyen menor consumo de energía, opciones de antena adicionales, y un microprocesador programable opcional. En su mayor parte, de la serie 2 y 2B son intercambiables.

Tanto las radios de la Serie 1 y Serie 2 están disponibles en dos diferentes potencias de transmisión, regular y PRO (véase la Figura 4.1.). A la versión normal se le llama simplemente radio XBee, en tanto que a su versión más avanzada se la denomina XBee PRO. Los radios XBee PRO tienen más potencia, son más grandes y más costosos (O'REILLY, 2010).

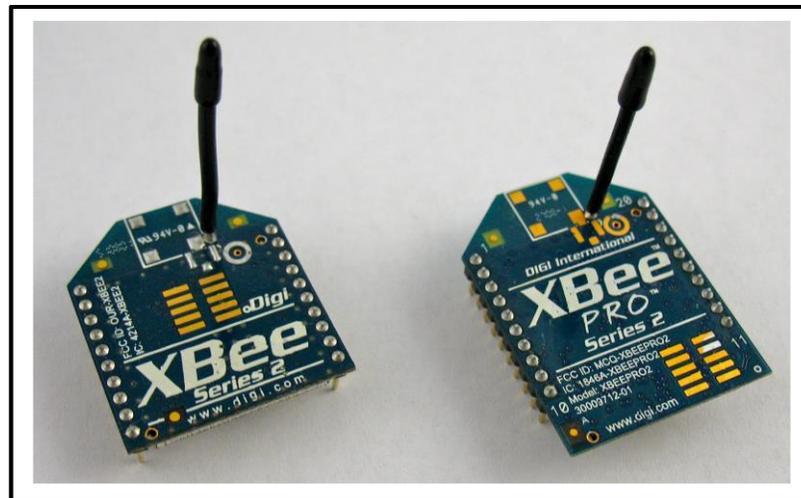


Figura 4.1. Tipos de radios XBee Regular y PRO de la Serie 2.

Fuente: (O'REILLY, 2010).

⁹ Ember[®] es la plataforma de elección para los fabricantes de equipos originales en desarrollo ZigBee[®] redes en sus productos.

4.1.1.2 Antenas XBee.

En Telecomunicaciones los radioenlaces necesitan de antenas para poder transmitir y recibir señales. Hay muchas maneras de construir una antena, cada una con ventajas y desventajas. La compañía Digi ofrece un montón de opciones que se ajustan a las exigencias del tipo de hardware utilizado. Para este trabajo de tesis se utilizó la antena tipo Látigo o cable que ofrece radiación omnidireccional.

Antena Látigo o Antena de cable.

Consiste en una sola pieza de alambre que sobresale del cuerpo de la radio. En la mayoría de los casos, una antena de cable es justo lo que necesita. Ofrece radiación omnidireccional, esto significa que la máxima distancia de transmisión es más o menos la misma en todas las direcciones cuando su cable esta recto y perpendicular al módulo (O'REILLY, 2010).

4.1.2. Módulos XBee Pro Series 2 (PRO S2).

Debido a sus características más complejas y la evolución de la tecnología, se ha visto conveniente la utilización de los módulos XBee Pro de la Serie 2. A continuación se detalla a profundidad lo referente a los módulos en mención.

4.1.2.1. Características Clave.

Alto rendimiento, bajo coste.

- Cobertura Interior /urbana: hasta 300' pies (100 m).
- Alcance con línea de visión exterior: hasta 1 milla (1,6 km)
- Potencia de transmisión de Salida: 100 mW (20 dBm) EIRP
- Sensibilidad del receptor: -102 dBm
- Tasa de Datos RF: 250000 bps

Redes Avanzadas y Seguridad.

- Permite reintentos y reconocimientos DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)
- Cada canal de secuencia directa tiene 65.000 direcciones de red, únicas disponibles.
- Permite enlaces punto a punto, punto a multipunto y topologías punto a punto apoyado.
- Auto-enrutamiento, auto-sanación y tolerante a fallos en la creación de redes malla.

Baja Potencia.

XBee PRO ZNet 2.5

- Corriente TX: 295 mA (@ 3,3 V)
- Corriente RX: 45 mA (@ 3,3 V)
- Corriente Potencia baja: <1 mu @ 25oC

Fácil de usar.

- Modos AT y Comando API para la configuración de los parámetros del módulo.
- Factor de forma pequeño.
- Amplio conjunto de comandos.
- Software X-CTU gratuito (Prueba y configuración de software)

4.1.3. Operación del Módulo RF.**4.1.3.1. Comunicación Serial.**

La interfaz permite conectar módulos XBee con un dispositivo host a través de un puerto serie asíncrono de nivel lógico. A través del puerto serie, el módulo puede comunicarse con cualquier nivel de voltaje lógico compatible con UART; o a través de un traductor de nivel a cualquier dispositivo serie (Por ejemplo: A través de un módulo Digi RS-232 o USB) (Digi International Inc., 2008).

4.1.3.2. Flujo de Datos UART.

Los dispositivos que tienen una interfaz UART, se pueden conectar directamente a los terminales del módulo de RF como se muestra en la Figura4.2.

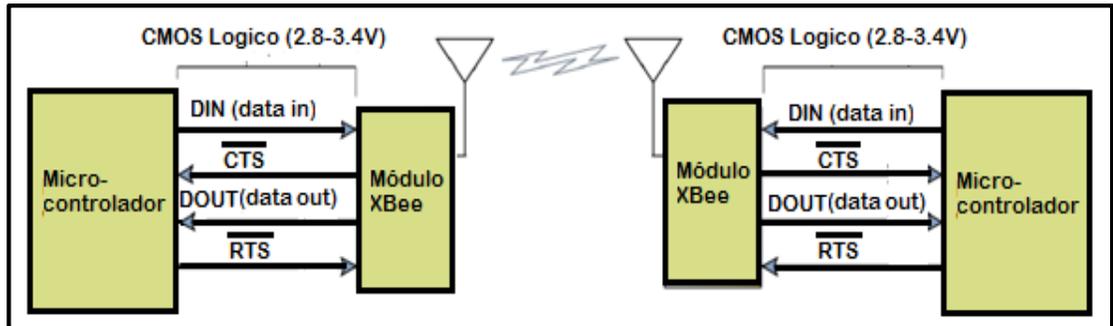


Figura 4.2. Sistema de flujo de datos en una interfaz UART.

Fuente: (Digi International Inc., 2008).

Datos Seriales.

Los datos entran al módulo UART a través del DIN (pin 3) como una señal en serie asíncrona. La señal debería desactivarse cuando no se transmiten datos.

Cada byte de datos consiste en: un bit de inicio (bajo), 8 bits de datos (desde el bit menos significativo) y un bit de parada (alto). La Figura 4.3 muestra el patrón de bits serial de datos que pasan a través del módulo.

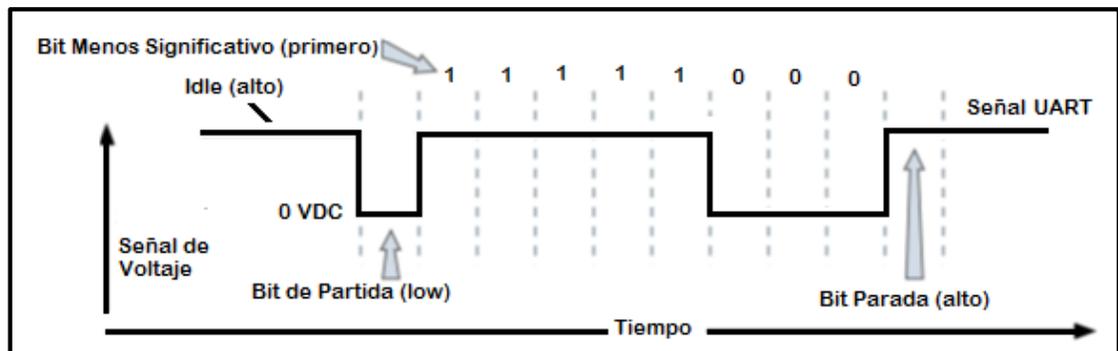


Figura 4.3. Paquete de datos UART 0x1F (número decimal "31") transmitido a través del módulo de RF.

Fuente: (Digi International Inc., 2008).

Las comunicaciones seriales dependen de los dos UART (los microcontroladores y los módulos de RF) para ser configurados con ajustes compatibles (velocidad de transmisión, paridad, bits de inicio, bits de parada, bits de datos).

La tasa de baudios UART, bits de paridad, y bits de parada se ajustan en el módulo XBee, pueden ser configurados a través del software X-CTU o por línea de comandos.

4.1.3.3. Buffers Seriales.

Los módulos XBee presentan pequeños buffers para almacenar datos recibidos en serie y RF, esto se ilustra en la Figura 4.4. El búfer de recepción serial recoge caracteres seriales entrantes y los mantiene hasta que puedan ser procesados. El búfer de transmisión serial recoge datos que se reciben vía enlace RF que serán transmitidos fuera de la UART.

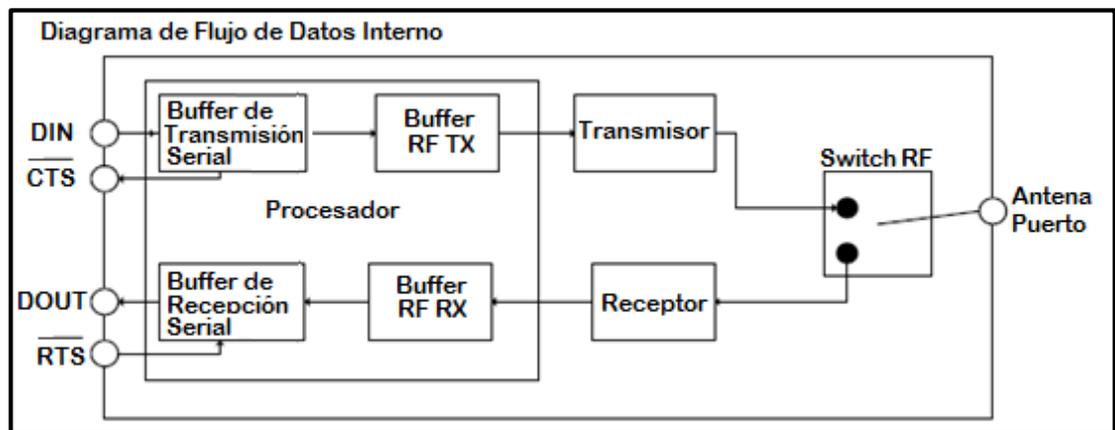


Figura 4.4. Diagrama de flujo de datos del terminal.

Fuente: (Digi International Inc., 2008).

4.1.3.4. Protocolo de Interface Serial.

Los módulos XBee soportan dos interfaces seriales: API (*Application Programming Interface*) y operación transparente AT.

Operación transparente.

Cuando funciona en modo transparente, los módulos actúan como un reemplazo de la línea serial. Todos los datos recibidos a través de la UART pin DIN hicieron cola para la transmisión de RF. Cuando se reciben datos de RF, los datos se envían a través del pin DOUT. Los parámetros de configuración del módulo se ajustan mediante la interfaz de modo de comandos AT (Digi International Inc., 2008).

Operación API.

Operación API es una alternativa a la operación transparente. La trama basada en API se extiende de nivel a cualquier aplicación host que puede interactuar con las capacidades de red del módulo. Cuando está en el modo API, todos los datos entrantes y salientes del módulo están contenidos en tramas que definen las operaciones o eventos dentro del módulo.

La API proporciona medios alternativos de configuración de módulos y enrutamiento de datos en la capa de aplicación host. Una aplicación host puede enviar tramas de datos al módulo que contiene la dirección y la carga útil de información en lugar de utilizar el modo de comando para modificar direcciones. El módulo enviará tramas de datos a la aplicación que contiene los paquetes de estado; así como la fuente, y la información de carga útil de paquetes de datos recibidos.

La opción de operación de API facilita muchas operaciones, como los ejemplos que se citan a continuación:

- La transmisión de datos a múltiples destinos, sin entrar en la modalidad de comandos.
- Estado de recepción satisfactorio/fracaso de cada paquete de RF transmitido.
- Identificar la dirección de origen de cada paquete recibido.

4.1.4. Modos de Operación.

4.1.4.1. Modo Inactivo.

Al no recibir o transmitir datos, el módulo de RF está en modo inactivo.

4.1.4.2 Modo Transmisión.

Cuando se reciben datos seriales y estos están listos para la paquetización, el módulo RF sale del modo inactivo y trata de transmitir los datos. La dirección de destino determina qué nodo (s) recibirá los datos. Antes de la transmisión de los datos, el módulo se asegura de que una dirección de red de 16 bits y la ruta al nodo de destino se han establecido. Si no se conoce el destino de direcciones de red de 16 bits, la detección de dirección de red se llevará a cabo.

Cuando se transmiten datos desde un nodo a otro, un aviso de recibo de nivel de red se transmite de vuelta a través de la ruta establecida para el nodo de origen. Este paquete de confirmación indica al nodo de origen que el paquete de datos fue recibido por el nodo destino. Si no se recibe un aviso de recibo de la red, el nodo fuente volverá a transmitir los datos.

4.1.4.3 Modo Recepción.

Si se recibe un paquete RF válido, los datos se transfieren a la memoria intermedia de transmisión serial.

4.1.4.4 Modo Comando.

Para modificar o leer los parámetros del módulo de RF, el módulo debe primero entrar en modalidad de comandos - un estado en el que los caracteres seriales entrantes son interpretados como comandos.

Modo Comando AT

Entrar al Modo Comando AT:

Enviar la secuencia de comandos de 3 caracteres "+++" y observar los tiempos de guardia antes y después de los caracteres de comandos.

Una vez que la secuencia de modo de comando AT se ha emitido, el módulo envía un "OK \ r" al pin DOUT. Los caracteres "OK \ r" se pueden retrasar si el módulo no ha terminado de transmitir datos seriales recibidos. Cuando se ha entrado en el modo de comando, el temporizador de modo de comando se inicia (comando CT), y el módulo es capaz de recibir comandos AT por el pin DIN (Digi International Inc., 2008).

Enviar un Comando AT:

Para enviar comandos AT y parámetros, se puede utilizar la sintaxis que se muestra en la Figura 4.5.



Figura 4.5. Sintaxis para enviar un comando AT.

Fuente: (Digi International Inc., 2008).

El ejemplo anterior sería cambiar la dirección del módulo de RF destino (bajo) a "0x1F". Para almacenar el nuevo valor no volátil (a largo plazo) de memoria, posteriormente enviar el comando WR (escritura).

Para los valores de parámetros modificados que persistan en el registro del módulo después de un reinicio, los cambios deben ser guardados en la memoria no volátil con el Comando WR (Write). De lo contrario, los parámetros se restablecen a los valores guardados anteriormente después de que el módulo se restablece (Digi International Inc., 2008).

Comando Respuesta.

Cuando se envía un comando al módulo, el módulo analiza y ejecuta el comando. Tras la ejecución con éxito de un comando, el módulo devuelve un mensaje de "OK". Si la ejecución de un comando produce un error, el módulo devuelve un mensaje de "ERROR".

4.1.4.5. Modo Dormir (*Sleep*).

Los modos de suspensión (*sleep*) permiten al módulo de RF entrar en estados de bajo consumo de energía cuando no esté en uso. Los módulos XBee RF soportan dos modos: el pin *sleep* (entra modo de reposo en los pines de transición) y ciclo *sleep* (el módulo tiene capacidad para un tiempo fijo).

4.1.5. Software X-CTU

X-CTU es un software diseñado por la empresa Digi, que permite programar los módulos XBee Pro, actualizar en firmware de los módulos, o probar la comunicación. A más de ser un software intuitivo este permite la programación mediante línea de comandos, o gráficamente a través de ventanas y pestañas de configuración.

Cuando se abre el programa X-CTU, se observa que se tiene cuatro pestañas. A continuación se describen cada una de ellas:

- **PC Settings:** donde se puede configurar todo con respecto a la velocidad de comunicación, bits de paridad, bits de parada, seleccionar el puerto COM, y también seleccionar el modo API.
- **Range test:** permite la posibilidad probar la comunicación con otros módulos, ver la intensidad de la señal recibida y los paquetes que ingresan correctamente y los que se pierden.
- **Terminal:** esta ventana permite observar las tramas que llegan al módulo XBee, así como también escribir tramas hacia el módulo XBee. Aquí también se puede realizar la programación de los módulos XBee. Por medio de comandos.
- **Modem Configuration:** esta ventana permite la configuración gráfica de los módulos XBee PRO S2, también se puede leer al módulo y ver cómo está configurado. Para restaurar los XBee a su configuración inicial, se da clic sobre “*Clear Screen*” y después a “*Restore*”.

4.2. Implementación de la Red de Sensores Inalámbricos.

4.2.1. Requerimientos

Es necesario un sistema de adquisición de datos de parámetros hidrológicos que permita el monitoreo a distancia de gran parte del entorno que se desee monitorear, ya sea en lagunas, estanques o plantas de tratamiento de agua.

Para esto se utilizará un dispositivo móvil capaz de desplazarse a través de dichos lugares, enviando la información correspondiente a través de una red inalámbrica, a una estación base donde se almacenarán y se presentarán los datos correspondientes a: voltaje de la batería, nivel turbiedad, nivel de conductividad y temperatura.

Puesto que el módulo móvil de adquisición de datos estará sobre grandes extensiones de agua, es necesario el uso de nodos repetidores para amplificar el rango de cobertura. Para poder realizar esto se debe crear una red en forma de árbol que se detallará más adelante, y con la capacidad de poder aumentar el número de dispositivos en caso de ser necesario.

La red básicamente constará de un módulo coordinador que será el encargado de permitir el tráfico de datos, asignar las direcciones de origen y destino de los módulos XBee PRO S2. En general será cerebro de la red ya que por el pasará toda la información.

Un módulo Router, que a más de permitir un mejor tráfico a través de la red, este brinda la posibilidad de aumentar el número de dispositivos o nodos finales, o ampliar la distancia de cobertura.

Por último un Nodo o dispositivo final, que en este caso estará ubicado en el módulo móvil de adquisición datos, enviará la información de los sensores y recibirá las órdenes para realizar las tareas de control del módulo.

En la Figura 4.6., se puede apreciar la función que cumple cada elemento de la red.

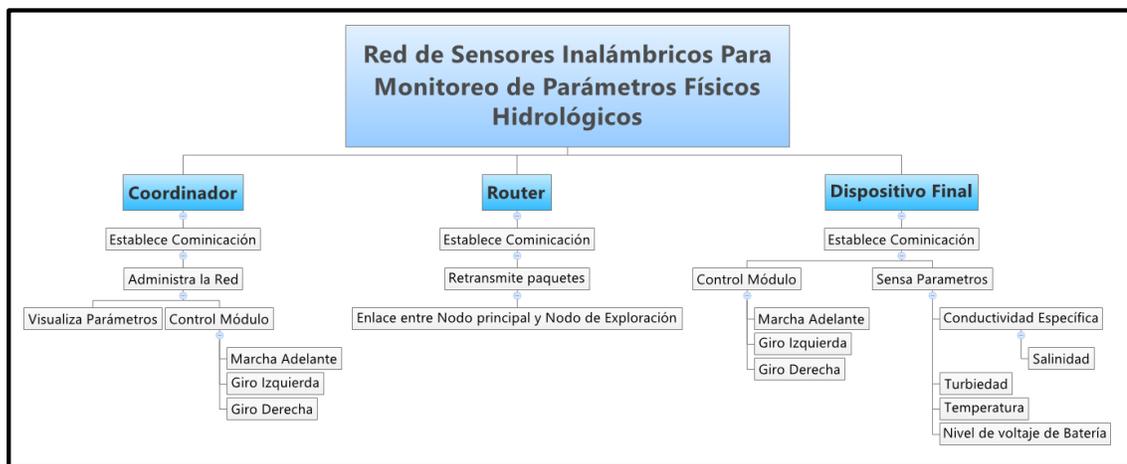


Figura 4.6. Funciones de los elementos de la red de sensores inalámbricos.

4.2.2. Topología de la red.

Para este trabajo se ha realizado un prototipo básico de red de sensores inalámbricos basado en la topología de árbol. Aquí se genera la relación llamada padre-hijo, para formar los enlaces, la cual se describe a continuación.

Los ruteadores y dispositivos finales se asocian con nodos presentes en la red. El nodo hijo es el que recientemente ha entrado en la red. El nodo padre es el nodo que le ha dado al hijo acceso a la red. La jerarquía ZigBee puede interpretarse como un árbol en donde el coordinador es la raíz y los nodos finales son las hojas.

Las propiedades más importantes son:

- Solo pueden ser padres el nodo coordinador o los nodos ruteadores.
- En cada momento el nodo hijo tiene solo un padre.
- Un hijo puede cambiar de padre.
- Los nodos ruteadores pueden tener nodos hijos
- Hay comunicación directa solo a través de la relación padre-hijo
- Ruteo jerárquico con un único camino posible entre 2 nodos

Las Ventajas principales al usar la topología Árbol son:

- Es una red Jerárquica donde se puede tener desde una red simple de nodos hasta una gran red con muchos nodos. A nivel estructural es considerada como la mejor entre las redes ramificadas.
- El direccionamiento es sencillo ya que trabaja con el mínimo número de saltos posibles en el encaminamiento de datos.
- La resolución de caminos es fácil ya que se conoce claramente el camino por donde irá el mensaje, y en caso de fallas poder corregir fácilmente el error.
- Se elimina el uso de tablas de ruteo, ya que cada módulo posea en un instante dado solo una única dirección de destino.

Cuando se configura la red con la topología de árbol se deben indicar los siguientes parámetros:

1. Número máximo de hijos directos: en este caso es uno ya que cada padre solo tendrá un hijo directo. Esto es el dispositivo final es hijo del Router y el Router es hijo del Coordinador,
2. Máxima profundidad de la red: Es la profundidad del árbol que en este caso es igual a 2, ya que existen dos saltos.
3. Direccionamiento de nodos: se coloca la dirección desino de cada módulo, esto se verá posteriormente.

4.2.3 Red de comunicación

Para formar una red de sensores inalámbricos sobre el agua, se requiere un seguimiento continuo de los parámetros por un largo período de tiempo. Por lo que se debe tomar en cuenta el ahorro de energía, técnicas de direccionamiento, toma de muestras y periodos de transmisión de datos. Como ya se mencionó se estructuró una red ZigBee con topología árbol para suplir las necesidades de comunicación del proyecto. Véase la Figura: 4.7.

En esta red el nodo central es el coordinador que se encuentra conectado al computador principal, siendo el componente más importante de la red, ya que se encargará de permitir la conexión de los demás dispositivos, direccionar los datos, establecer un canal de comunicación y recibir la información que será procesada y visualizada en LabVIEW.

El módulo Router será utilizado como dispositivo repetidor, esto para aumentar el alcance del enlace de radiofrecuencia, además dispondrá de una pantalla matricial en donde se podrán visualizar los datos transmitidos, el módulo Router por lo tanto debe conocer la dirección del módulo Coordinador para poderle enviar la información.

El dispositivo final necesita saber la dirección de destino del módulo Router, esto para completar el enlace del sistema de monitoreo, en la Figura 4.7., también se puede observar las dirección que poseen los módulos XBee. Cada XBee posee una dirección serial (sa) y una dirección de destino (da) que juegan un papel fundamental al momento del direccionamiento de la red.

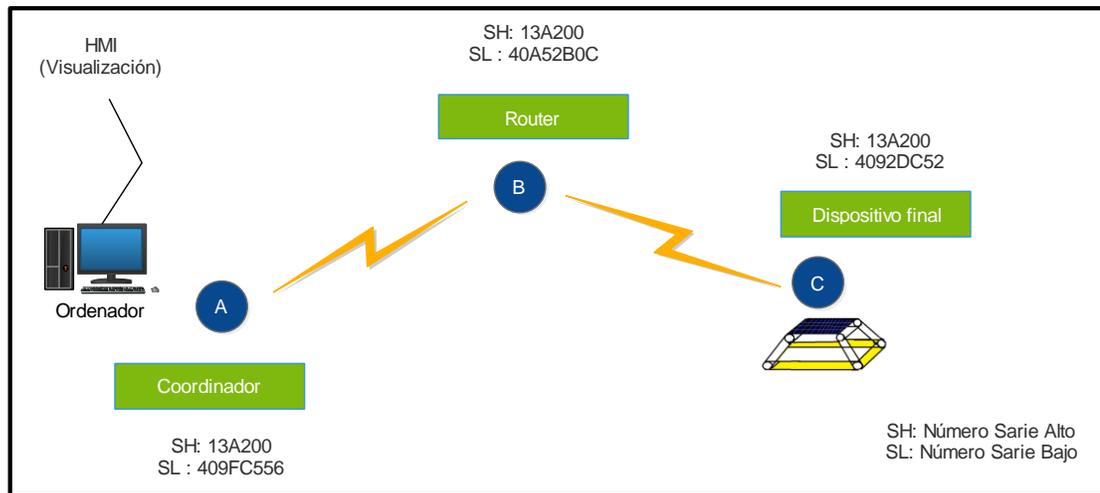


Figura 4.7. Red de sensores inalámbricos para monitoreo de parámetros hidrológicos.

4.2.4. Programación de los módulos XBee.

Para la programación de los módulos XBee PRO S2 es necesario preparar el ordenador para la programación de los mismos, primero instalando los drivers del programador XBee Explorer USB, luego la configuración del software X-CTU.

4.2.4.1. Instalación de drivers para programación de Módulos XBee PRO S2.

Primero se coloca el módulo el XBee PRO S2 en la tarjeta XBee programmer USB, luego se conecta el cable USB a la computadora, posteriormente se abre una ventana del administrador de dispositivos que es en encuentra en el panel de control (véase la Figura 4.8.), si no se instala automáticamente buscamos los drivers a través de la carpeta drivers USB XBee pro.

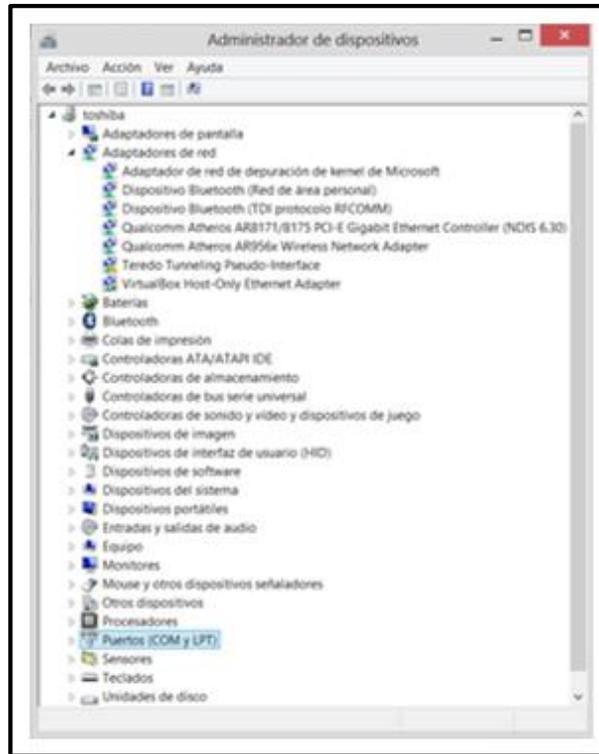


Figura 4.8. Ventana administrador de dispositivos, puertos (COM y LTP).

Una vez instalado correctamente el driver en el administrador de dispositivos, debe aparecer el puerto de comunicación “COM”¹⁰ correspondiente al programador USB.

4.2.4.2. Configuración Inicial en Software X-CTU.

Se han establecido los siguientes pasos para la configuración inicial de los módulos que formaran parte de la red.

1. Conectar el módulo XBee al ordenador usando el XBee Explorer USB.
2. Iniciar el programa X-CTU.
3. Seleccionar el puerto COM en el que está conectado el dispositivo XBee.
4. Establecer la velocidad de comunicación en 9600 baudios.
5. En número de bits de datos seleccionar 8.
6. En paridad seleccionar la opción ninguna.
7. Colocar en número de bits de parada en 1.

¹⁰ Puerto COM: Puerto Serial de comunicaciones digitales integrado en un ordenador.

Esta configuración es para todos los módulos XBee PRO S2. Por lo tanto es necesario configurar a todos los nodos de la red de esta manera, para que la programación y posterior funcionamiento de los módulos tenga efecto. Se puede comprobar la conexión haciendo clic en el botón test/Query, si todo está correcto aparecerá un mensaje diciendo comunicación con el modem ok, el tipo de modem y la versión de firmware¹¹ que tiene el módulo (véase la Figura 4.9.). Una vez realizados estos pasos, la configuración inicial ha finalizado, con esto se procede a programar a los módulos XBee, con su respectiva función.



Figura 4.9. Software X-CTU, comprobación de la conexión.

Cada módulo XBee tiene un número identificador único. Este número se divide en dos direcciones serial alta (SH) y dirección de serial baja (SL). Estos números se encuentran impresos en la etiqueta bajo el XBee. Estos números sirven para establecer en la programación de los módulos las direcciones de envío y recepción de datos de los módulos.

Utilizando el comando **ATND** se puede ver las características de los módulos al que se están conectando.

Si en el Terminal se digita los comandos:

“+++OK”

“ATND”

¹¹ Firmware: Conjunto de instrucciones grabadas en memoria para controlar un dispositivo.

Aparecen los módulos a los cuales está conectado el XBee, el orden de datos entrantes es el siguiente:

- 62FF= MY (dirección de red de 16 bits)
- 0013A200= SH (Número de serie alto)
- 409BB861= SL (Número de bajo)
- Router= NI (Identificador de Nodos)
- FFFE= Canales escaneados||<a
- 01= Determina si es Router o Coordinador.

Los comandos AT son utilizados por los radios XBee para la configuración y lectura de los módulos. Siempre que se escriba un comando AT, es necesario presionar la tecla enter. Para ingresar en el modo comandos es necesario digitar “+++” seguido de un enter, esto permite avisar al módulo que se la va a programar. Los comandos más útiles se presentan a continuación.

- ATID: Muestra todos los dispositivos conectados a red de área personal.
- ATSH,ATSL: Muestra la dirección física del dispositivo leído.
- ATDH/ATDL: Permite asignar o mostrar la dirección del dispositivo de destino.
- ATCN: Sale del modo comandos y entra en modo de comunicación normal.
- ATWR: Permite grabar los datos en el módulo XBee, si no se tecléa este comando, los datos no serán escritos en el módulo, ya que solo se encuentran en la memoria volátil.
- ATMY: Este comando muestra la dirección de 16 bits del módulo.

4.2.4.3. Configuración del módulo Coordinador.

Como ya se mencionó en el Capítulo 1 el módulo coordinador es el encargado de administrar y gestionar la red, solo puede existir uno por cada red de sensores. A continuación se presenta los pasos para su configuración, pero antes:

- Se inicia el modo de programación en la ventana terminal del software X-CTU.
- Se ingresa el siguiente comando “+++”.
- Posteriormente ingresamos el comando.

1.- Configurar el PAN ID.

Se configura la red con el PANID: 123, este será el mismo para todos los dispositivos que formen parte de la red (véase la Figura 4.10.).

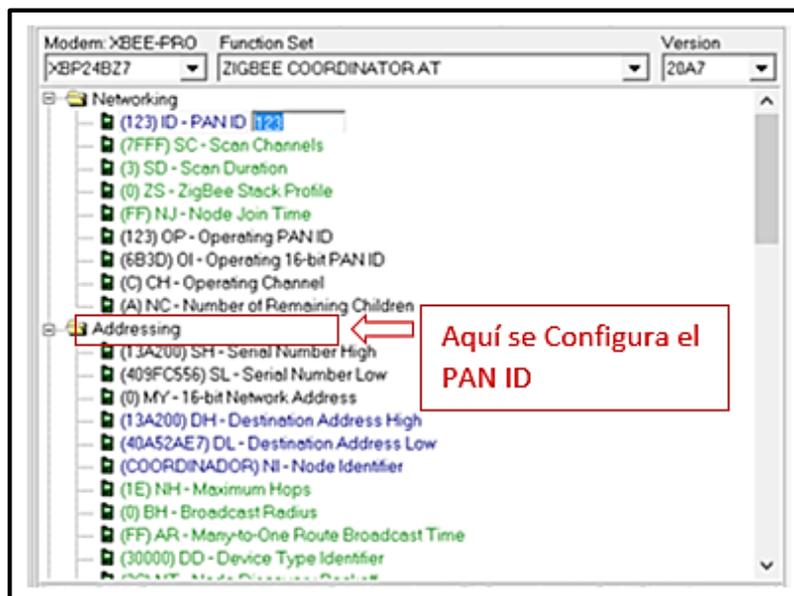


Figura 4.10. Configuración PAN ID del coordinador en X.CTU.

2.- Se Configura la dirección de destino Alta.

Se Coloca en la parte inferior: 13A200 (véase la Figura 4.11.).

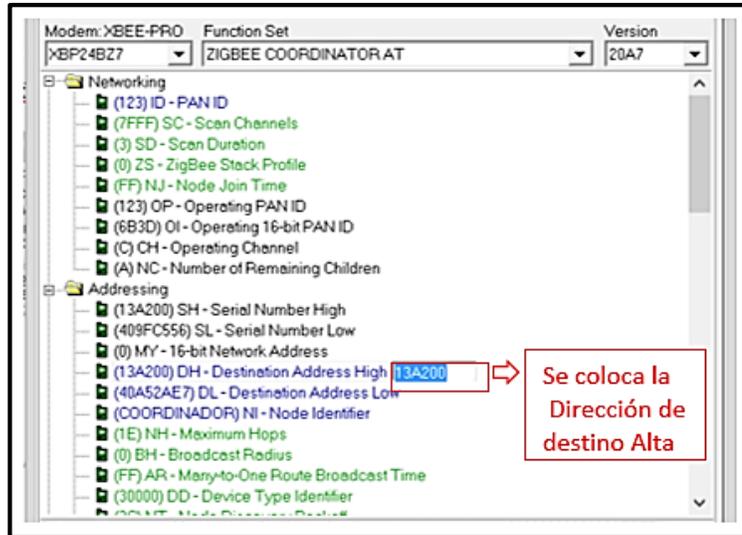


Figura 4.11. Configuración de la dirección destino alta (DH) del coordinador en X-CTU.

3.- Se configura la dirección de destino baja:

Se coloca en la parte inferior: 40A52AE7 (véase la Figura 4.12.).

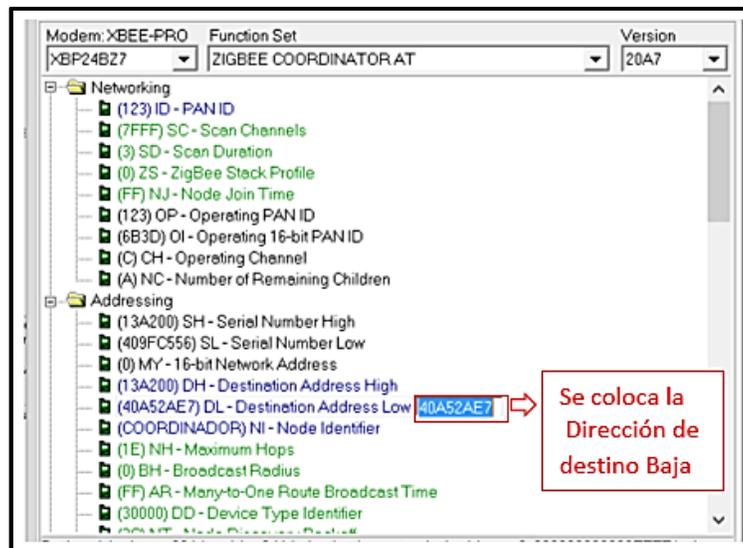


Figura 4.12. Configuración de la dirección destino baja (DL) del coordinador en X-CTU.

4.- Se configura la velocidad de Transmisión a 9600 Baudios (véase la Figura 4.13).

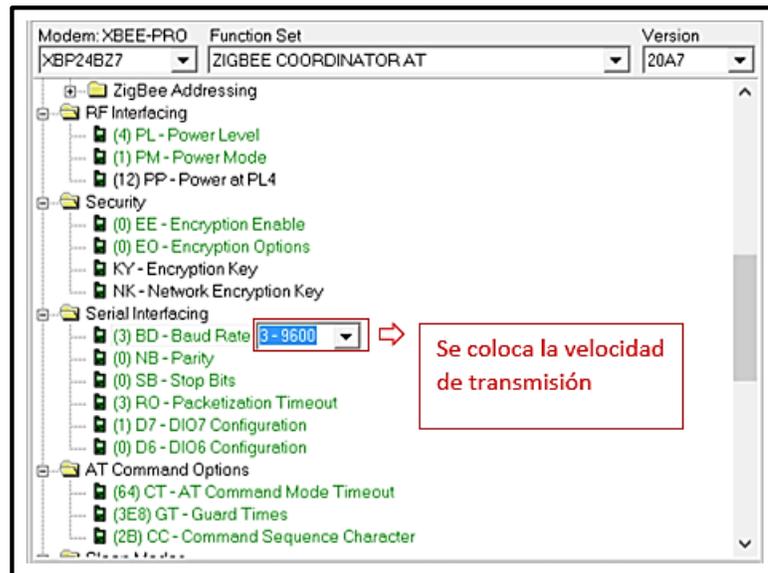


Figura 4.13. Configuración velocidad de transmisión (BD) del coordinador en X-CTU.

5.- Configuración del Nombre identificador del dispositivo.

Se coloca el nombre del dispositivo, con este nombre se identificará al dispositivo dentro de la red. Para el dispositivo final se colocó: “COORDINADOR” (ver la Figura 4.14).

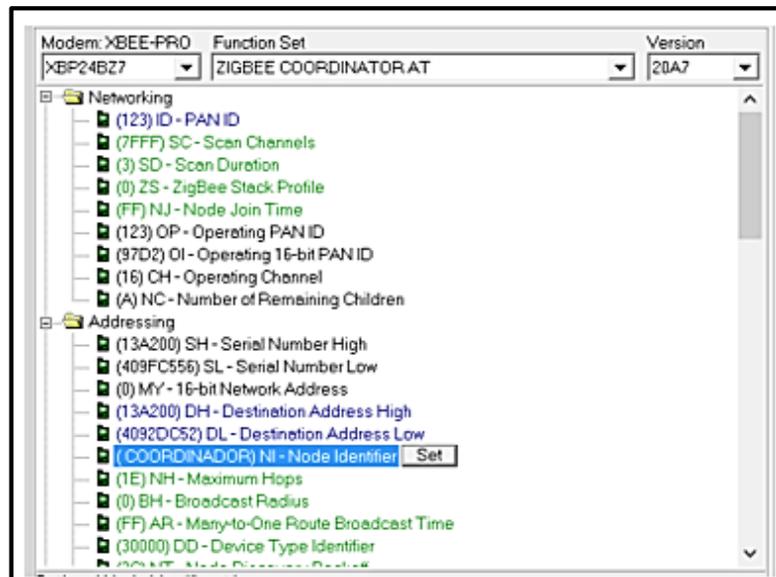


Figura 4.14. Configuración nombre identificador (NI) del coordinador en X-CTU.

4.2.4.4. Configuración del módulo Router.

1.- Configurar el PANID.

Se configura la red con el PANID: 123 (véase la Figura 4.15.), este será el mismo para todos los dispositivos que formen parte de la red.

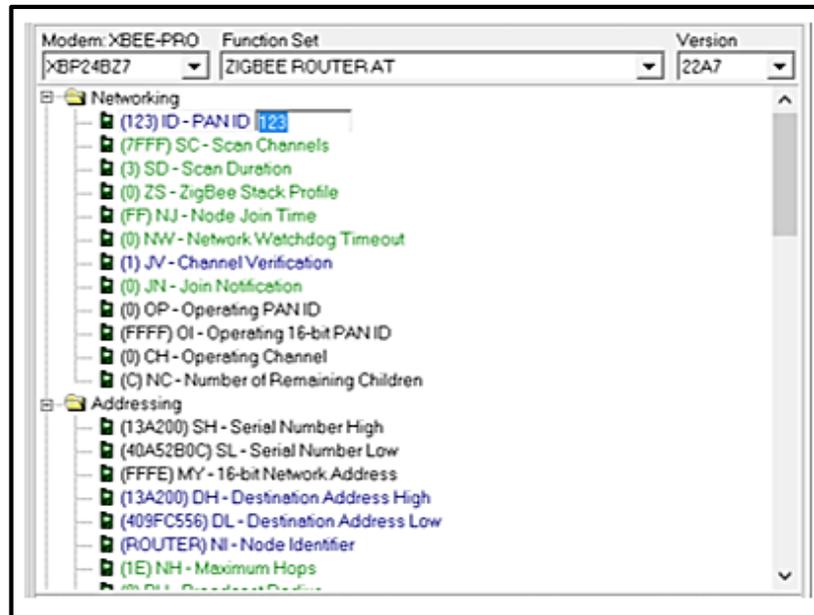


Figura 4.15. Configuración del PAN ID (ID) del router en X-CTU.

2.- Se Configura la dirección de destino Alta.

Se Coloca en la parte inferior: 13A200 (véase la Figura 4.16.).

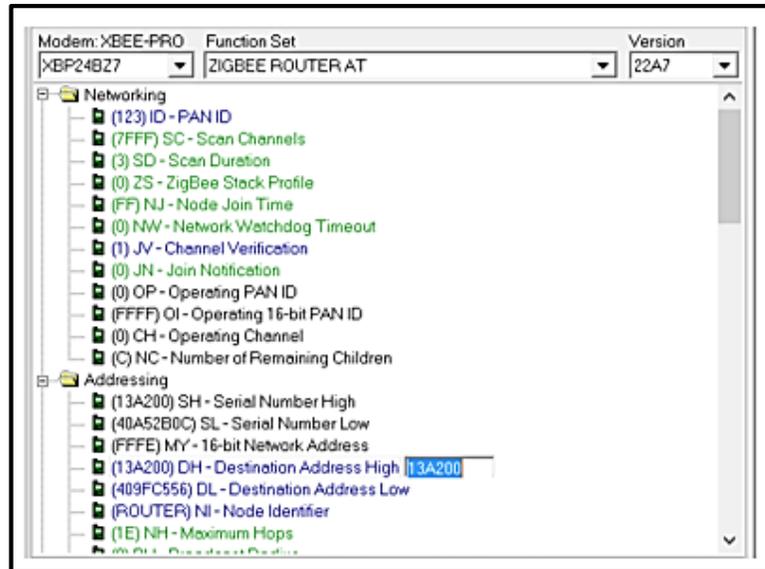


Figura 4.16. Configuración de la dirección destino alta (DH) del router en X-CTU.

3.- Se configura la dirección de destino baja:

Se coloca en la parte inferior: 409FC556 (véase la Figura 4.17.).

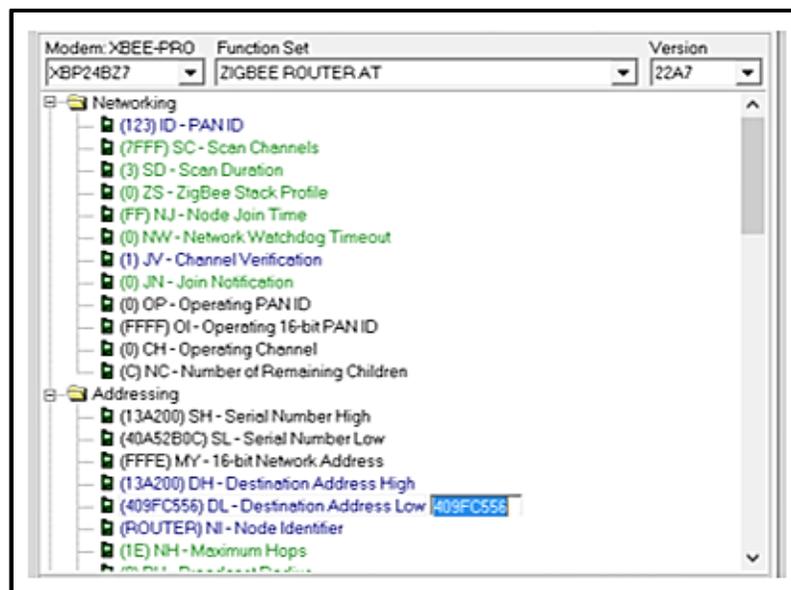


Figura 4.17. Configuración de la dirección destino baja (DH) del router en X-CTU.

4.- Se configura la velocidad de Transmisión a 9600 Baudios (véase la Figura 4.18).

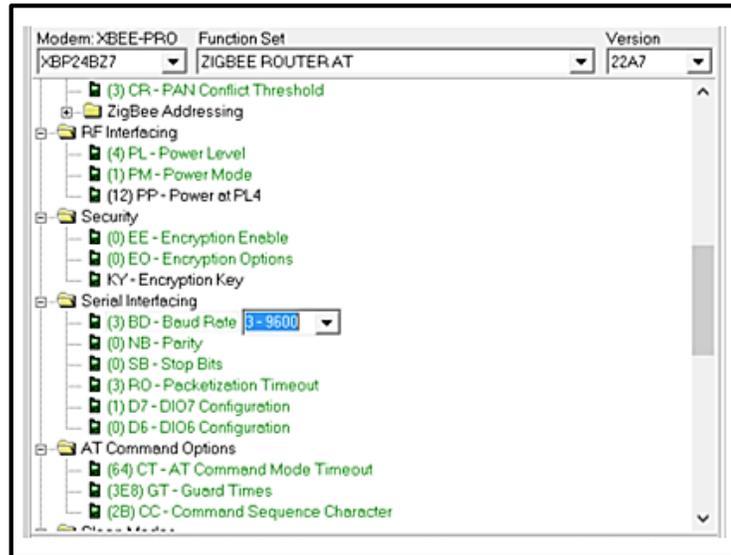


Figura 4.18. Configuración de la velocidad de transmisión (DH) del router en X-CTU.

5.- Configuración del Nombre identificador del dispositivo.

Se coloca el nombre del dispositivo, con este nombre se identificará al dispositivo dentro de la red. Para el dispositivo final colocamos: “ROUTER” (véase la Figura 4.19.).

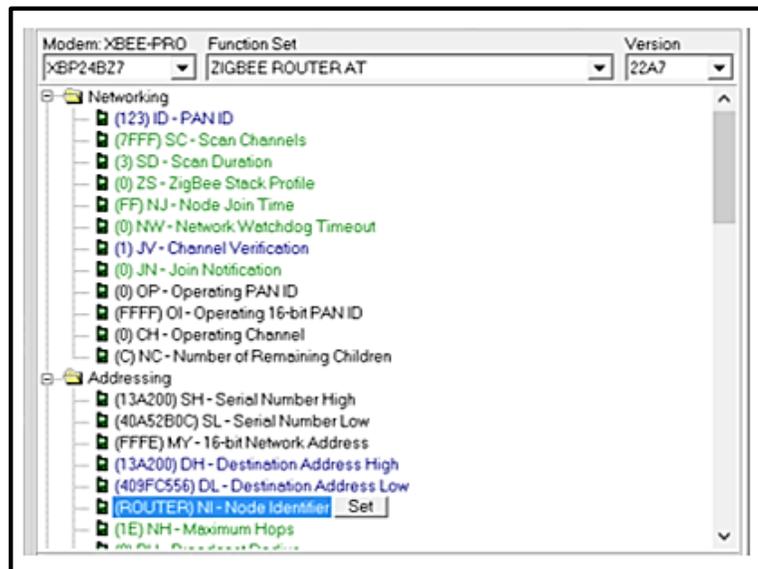


Figura 4.19. Configuración nombre identificador (NI) del router en X-CTU.

4.2.4.5. Configuración del módulo Dispositivo Final.

1.- Configurar el PANID.

Se configura la red con el PANID: 123 (véase la Figura 4.20.), Este será el mismo para todos los dispositivos que formen parte de la red.

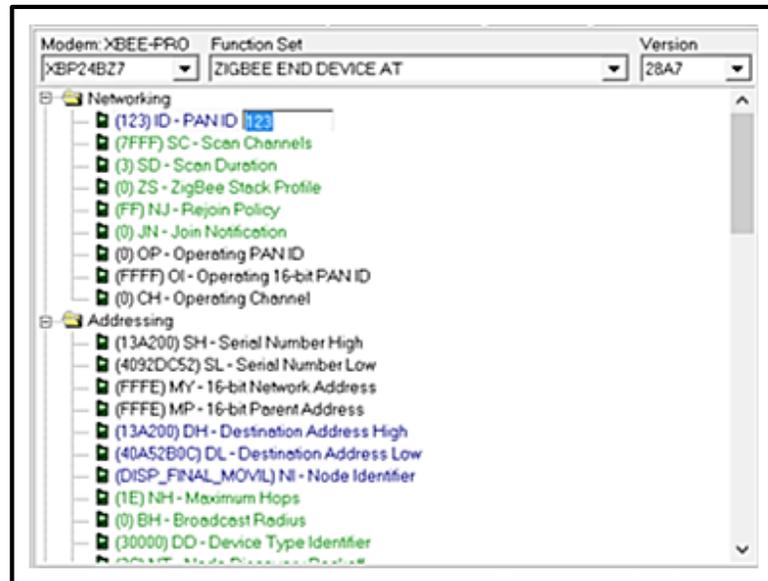


Figura 4.20. Configuración del PAN ID (ID) del dispositivo final en X-CTU.

2.- Se Configura la dirección de destino Alta.

Se Coloca en la parte inferior: 13A200 (véase la Figura 4.21.).

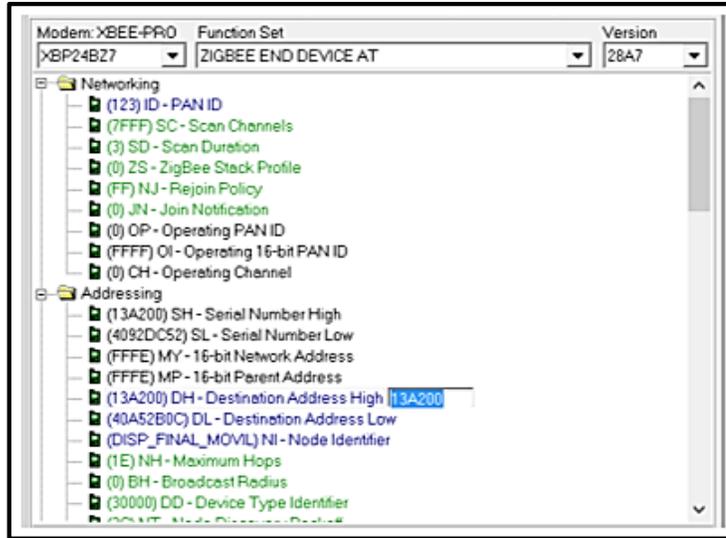
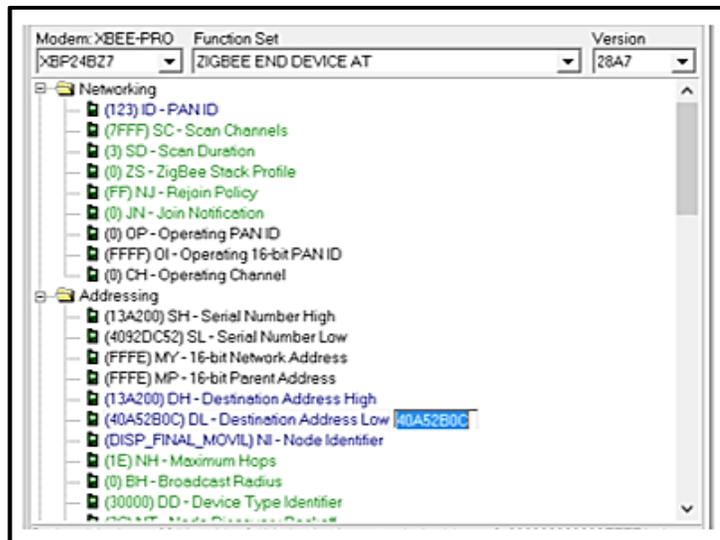


Figura 4.21. Configuración de la dirección destino alta (DH) del dispositivo final en X-CTU.

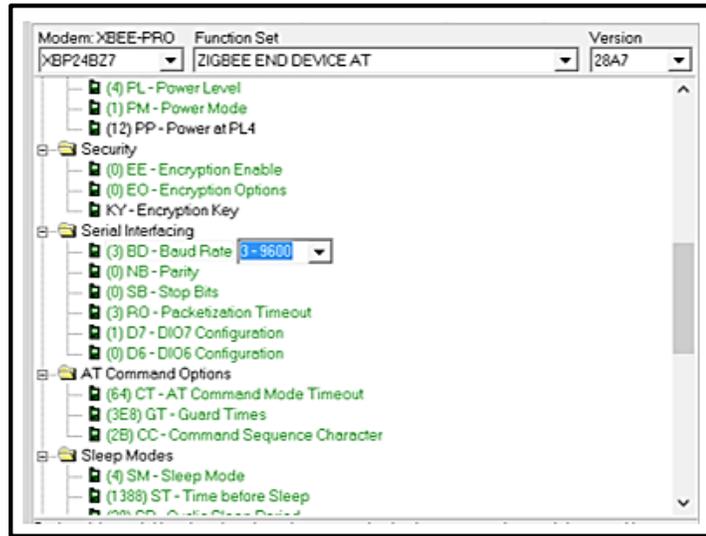
3.- Se configura la dirección de destino baja:

Se coloca ver en la parte inferior: 40A52B0C (véase la Figura 4.22.).



4.22. Configuración de la dirección destino baja (DL) del dispositivo final en X-CTU.

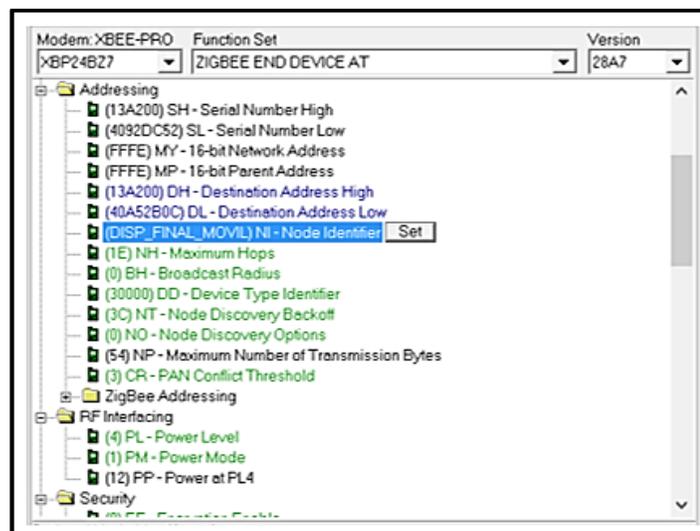
4.- Se configura la velocidad de Transmisión a 9600 Baudios (véase la Figura 4.23).



4.23. Configuración de la velocidad de transmisión (BO) del dispositivo final en X-CTU.

5.- Configuración del Nombre identificador del dispositivo.

Se coloca el nombre del dispositivo, con este nombre se identificará al dispositivo dentro de la red. Para el dispositivo final colocamos: “DISP_FINAL_MOVL” (véase la Figura 4.24.).



4.24. Configuración del nombre identificador (NI) del dispositivo final en X-CTU.

4.3. Pruebas y Resultados

Los experimentos permiten identificar fallos y debilidades en el sistema así como ver problemas y encontrar las posibles soluciones. Para realizar las pruebas y experimentos es necesario contar con espacios adecuados para la realización de los mismos. Para esto se acudió a lugares con espacios aptos, que permitan demostrar el funcionamiento de la red. El primer lugar para donde se realizaron las pruebas fue la laguna Toreadora ubicada en el “Parque Nacional Cajas”.

Puesto que era necesario implementar el proyecto en lugares donde fuese necesario el monitoreo de parámetros físicos del agua, se acudió a la planta de tratamiento de agua potable de San Pedro ubicada en el sector “Racar” de la ciudad de Cuenca.

El lugar escogido para las pruebas del módulo, en la planta de tratamiento, fue la máquina DAFII, que es donde se realiza un proceso de floculación, sedimentación y filtrado del agua.

4.3.1. Pruebas de conectividad y exploración de la Red.

Para la prueba conectividad y exploración de la red, se ha hecho uso del programa X-CTU, y de su herramienta llamada modo de trabajo en red. Para iniciar la exploración de dispositivos se procede a dar clic en el icono “*play*”, con lo cual se inicia el proceso.

En la Figura 4.25., se puede apreciar cómo están conectados los módulos en la red, el módulo Coordinador está representado por la letra C, el módulo Router por la letra R, y el módulo Final con la letra E. Por lo tanto una vez hecho esto, se ha comprobado cómo están interconectados los dispositivos dentro de la red.

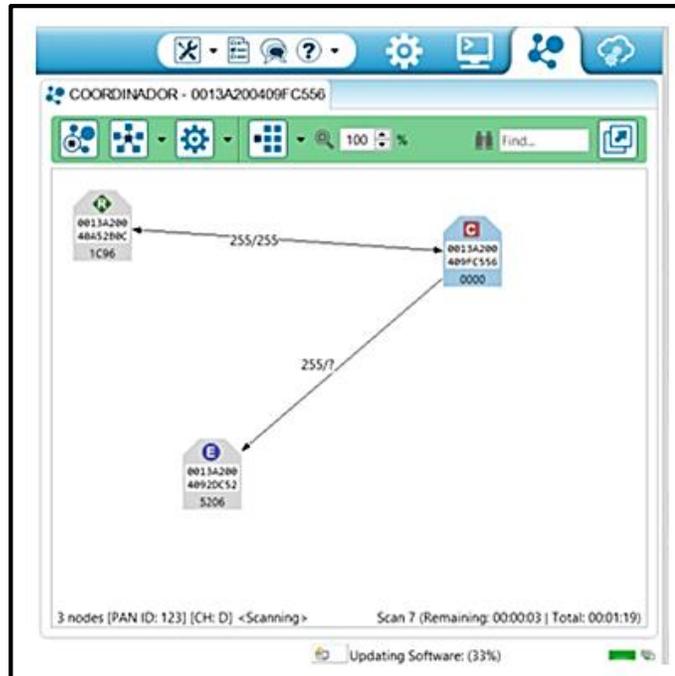


Figura 4.25. Red de sensores inalámbrica en modo de trabajo en red, en X-CTU.

4.3.2. Pruebas de medición de alcance y de transmisión de paquetes.

Para las pruebas de medición de calidad en el enlace se utiliza la herramienta del software X-CTU (Radio Range Test) que mide la calidad del enlace de radio frecuencia de los módulos conectados a la red.

Para esta prueba se necesita por lo menos que un dispositivo esté conectado al módulo coordinador de la red.

Para realizar una prueba de rango seguir los pasos descritos a continuación:

1. Configurar Los módulos XBee con el modo de programación API habilitado y una única dirección de 16 bits o 64 bits.
2. Se ingresa la dirección de destino de 16 bits o 64 bits
3. Para iniciar una prueba de rango, haga clic en Iniciar test de Rango.
4. Se puede ir comprobando que a medida que se separan los módulos el nivel de señal en la comunicación disminuye.

Test de intensidad de señal entre Coordinador y Router.

En la primera prueba se midió el nivel de intensidad de señal entre el Coordinador y el Router, a una distancia de 5 metros, observando que no se tiene pérdidas de paquetes y se tiene un RSSI¹² de -35dbm¹³ en el módulo remoto y el módulo local, véase la Figura 3.26.

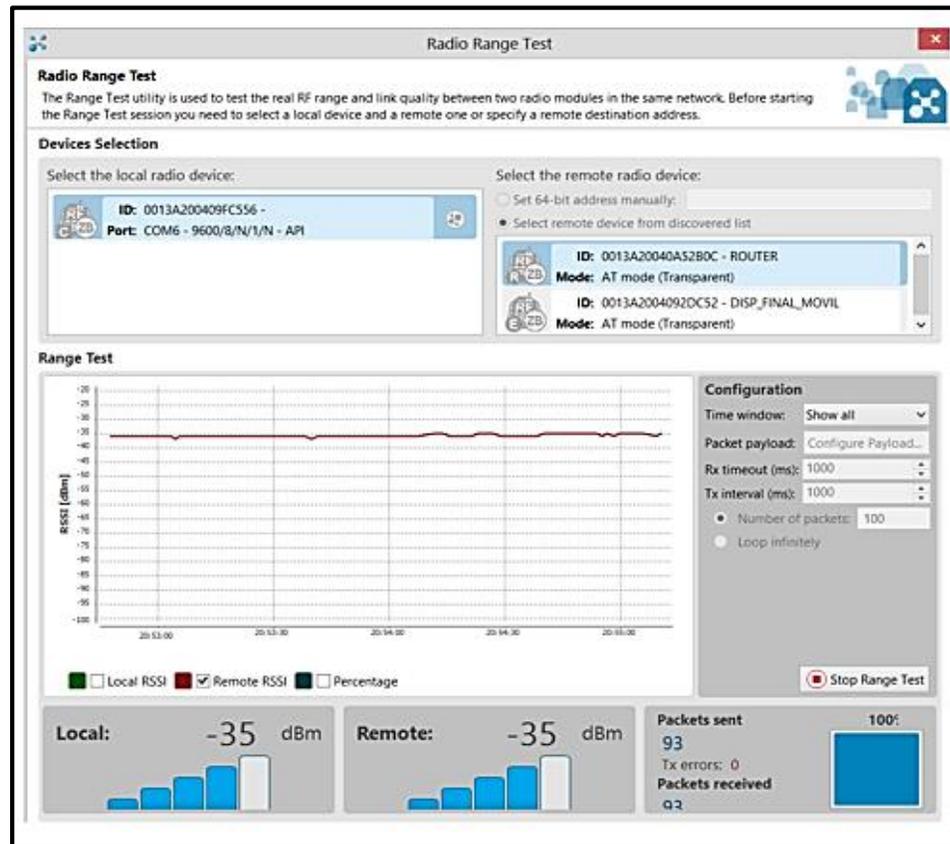


Figura 4.26. Test de Rango entre Coordinador y Router a 5 metros en X-CTU.

La siguiente prueba fue separar los módulos aproximadamente 50 metros sin línea de vista, observando que el nivel de intensidad de señal disminuyó a -94dbm en el módulo coordinador y -98dbm en el módulo Router.

¹² RSSI: (Received Signal Strength Indicator) Indicador de la intensidad de la señal recibida.

¹³ dbm: Unidad de potencia en db relativa a 1 mili vatio, recordando que los db es la relación de potencia de salida del dispositivo con la señal de potencia de entrada.

Se puede notar también que los paquetes recibidos son 89 y los paquetes enviados son 100, teniendo una pérdida del 11 % de los paquetes, véase la Figura 4.27.

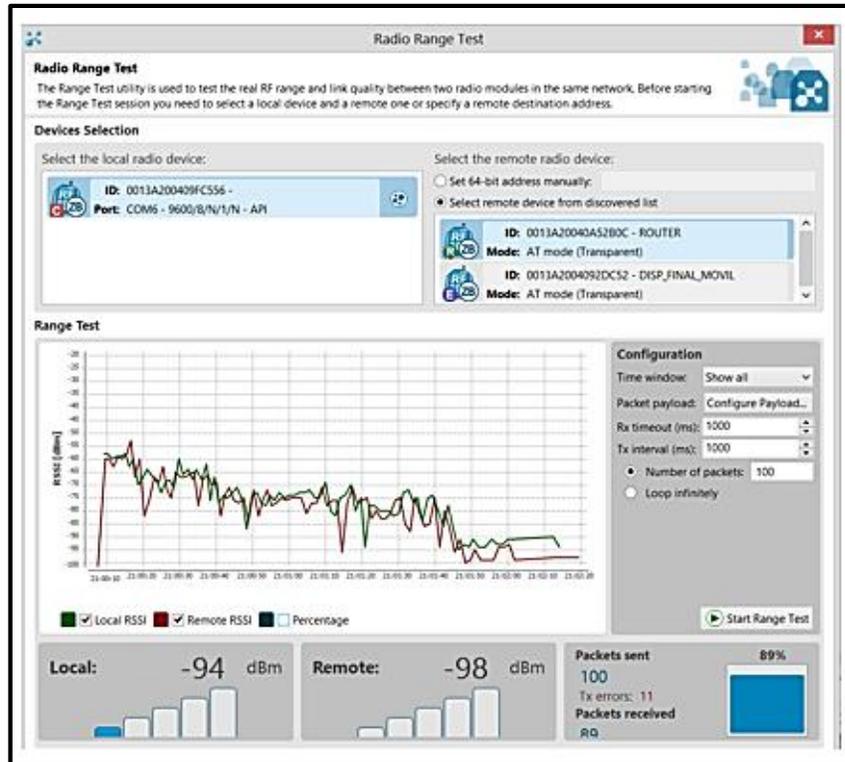


Figura 4.27. Test de Rango entre Coordinador y Router a 50 metros en X-CTU.

Test de intensidad de Señal entre Coordinador y Dispositivo final.

Se realizó una prueba de comunicación entre el módulo coordinador y el dispositivo final, estos separados una distancia de 20 metros con línea de vista, teniendo una intensidad de señal de -47dbm en el coordinador y de -48dbm en el dispositivo final, se puede apreciar que no existe pérdida de paquetes, véase la Figura 4.28.

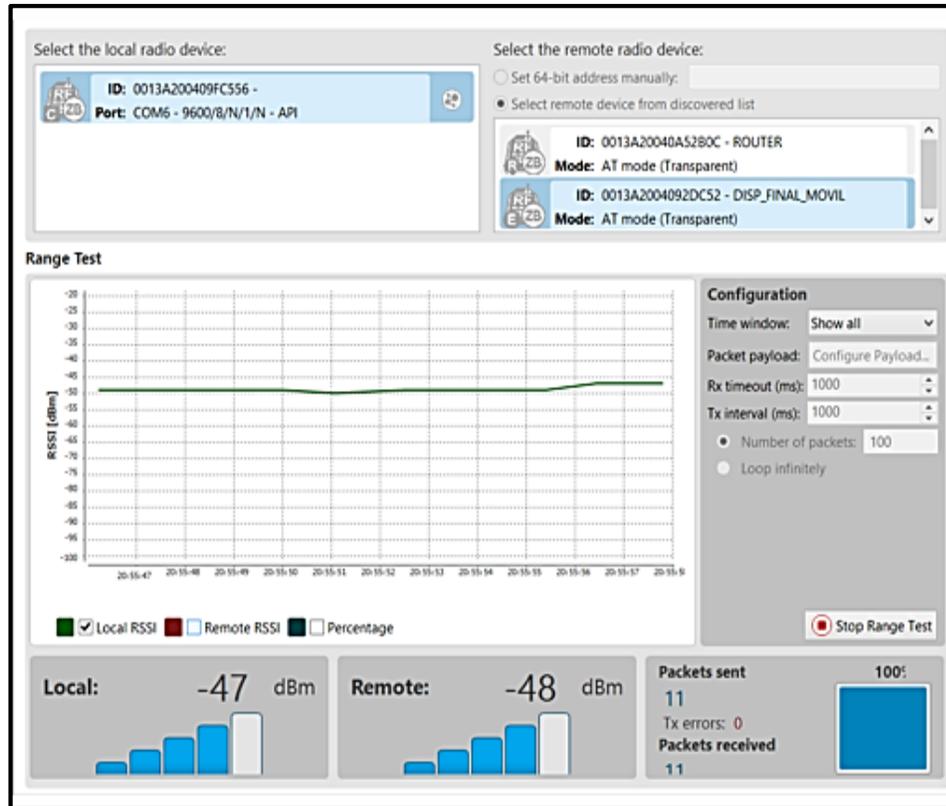


Figura 4.28. Test de Rango entre Coordinador y Dispositivo final a 20 metros en X-CTU.

Por último se realizó una prueba alejando al dispositivo final una distancia aproximada de 80 metros con línea de vista, se puede apreciar que no existen pérdidas de paquetes pero si disminuye la intensidad de la señal a -83dbm en el coordinador y a -84dbm en el dispositivo final, véase la Figura 4.29.

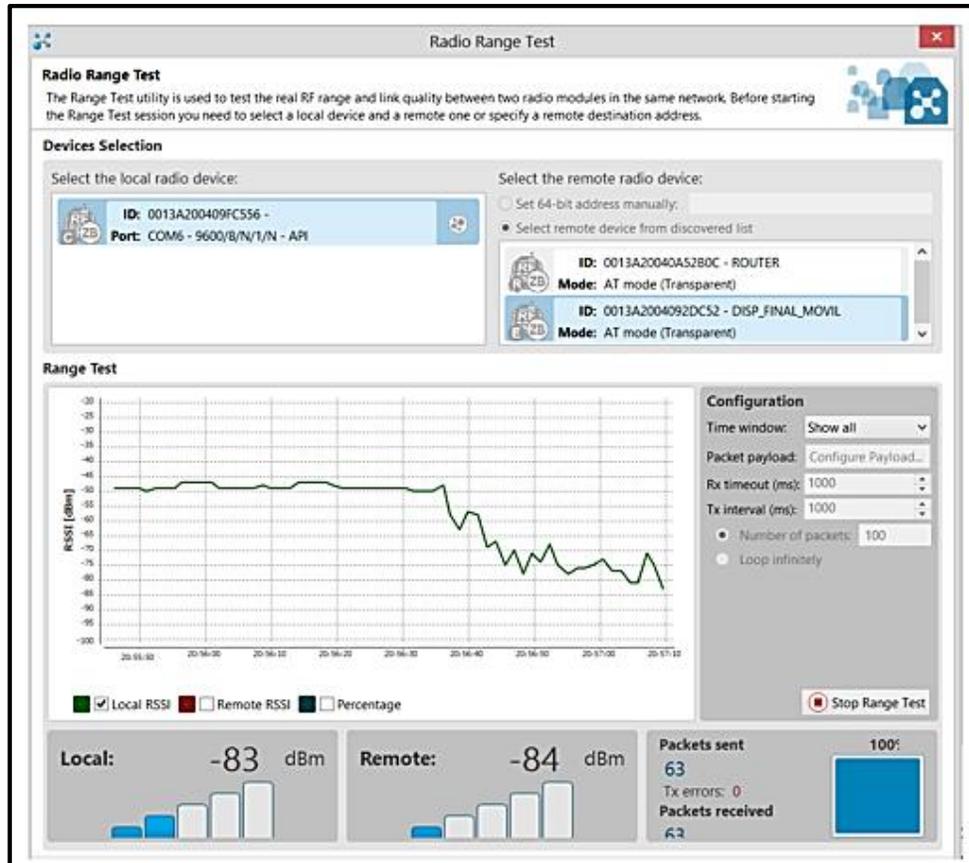


Figura 4.29. Test de Rango entre Coordinador y Dispositivo final a 80 metros en X-CTU.

4.3.3. Pruebas en modo Sueño.

Se realizaron pruebas configurando al dispositivo final en modo de sueño, se presentaron los resultados esperados, ya que si se pone a dormir al módulo por ejemplo en intervalos de sueño cada hora, se observa que el estado de la batería se mantiene casi invariable gracias al panel solar, a más de tener un consumo mínimo debido a la configuración del módulo final en modo sueño.

En la Figura 4.30., presentada a continuación se puede ver los intervalos de tiempo en que el módulo entra en modo sueño, y los consumos de corriente de la batería. Para esto se configuró al módulo para que entre en modo sueño cada hora, se active durante 1 segundo realice el respectivo procesamiento y posteriormente vuelva a modo sueño.

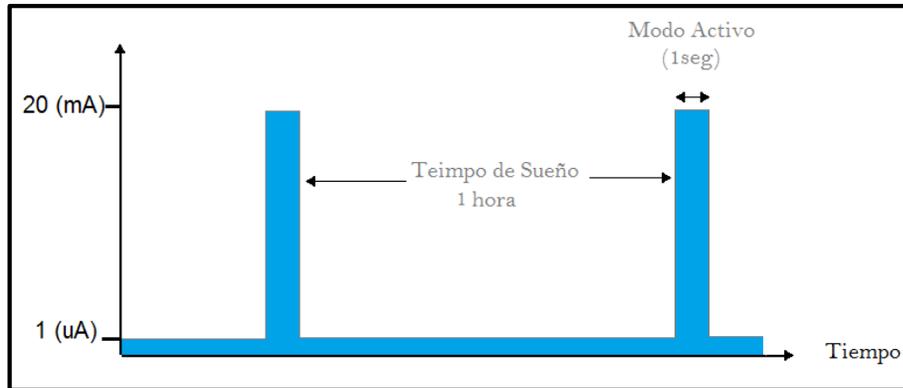


Figura 4.30. Modo Sueño Dispositivo final.

4.3.4 Pruebas de medición de los sensores.

Las pruebas de medición fueron realizadas en la Planta de Tratamiento de agua de San Pedro, ubicada en el sector Racar, a las afueras de la ciudad de Cuenca y en la laguna Toreadora que se encuentra ubicada en el Parque Nacional Cajas.

4.3.4.1. Pruebas en la Planta de Tratamiento de San Pedro

Para las primeras pruebas de la red sensores inalámbricos, y de los sensores se acudió a la planta de tratamiento de agua potable de San Pedro (véase la Figura 4.31.), a continuación se realiza una breve descripción de las características de la planta.



Figura 4.31. Planta de Tratamiento de Agua San Pedro - Proyecto Culebrillas.

Fuente: (ETAPA EP, 2015).

La Planta de Tratamiento de San Pedro - Proyecto Culebrillas se encarga de abastecer agua potable a 25.000 personas aproximadamente, esto debido a que su producción es de 300.000 m³ por mes. (ETAPA EP, 2015). En la planta de San Pedro - Proyecto Culebrillas se realizan ciertas fases como: captación, conducción, floculación, desinfección entre otras. La planta cuenta también con un módulo tipo DAFII que realiza las fases de coagulación, flotación, sedimentación y filtración del agua. (ETAPA EP, 2015).

Las mediciones de los parámetros censados por el módulo se realizan en dos partes de la planta de tratamiento. La primera tiene lugar en el tanque DAFFI, en donde mediante ciertos procesos químicos, el sedimento es elevado a la superficie del agua gracias a la ayuda de burbujas (véase la Figura 4.32. sección lateral izquierda). La segunda tiene lugar en un tanque de almacenamiento de agua potable, que posteriormente será distribuida hacia las diferentes zonas de la ciudad (véase la Figura 4.32. sección central).

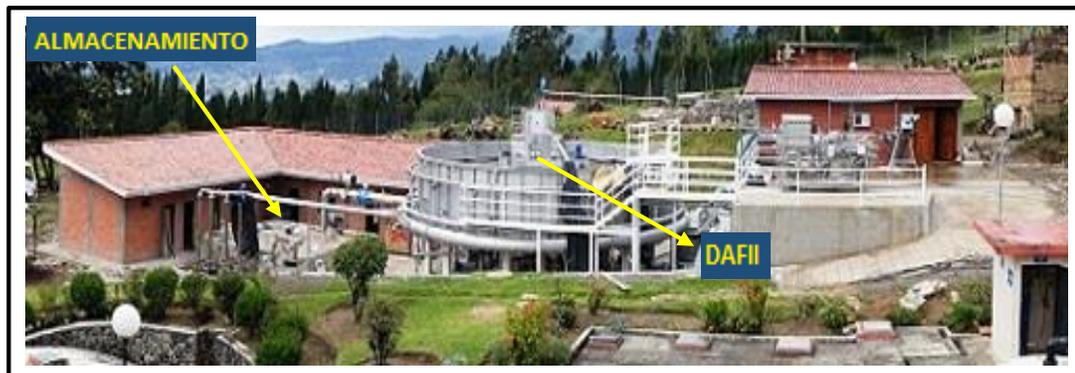


Figura 4.32. Tanques de almacenamiento y DAFII de la planta de tratamiento de agua San Pedro.
Fuente: (ETAPA EP, 2015).

Mediciones en el tanque DAFFI.

Una vez introducido el módulo móvil dentro del tanque DAFFI, este se desplazó a través del tanque, censando los parámetros de turbiedad, temperatura, conductividad y nivel de energía del módulo.

La Figura 4.33., muestra los valores de turbiedad medidos cuando el agua estaba ligeramente turbia, dando una medida aproximada de 38.47 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbiedad).



Figura 4.33. Medición de Turbiedad en LabVIEW, tanque DAFII.

La medición de temperatura se muestra en la Figura 4.34., en la que se puede observar una pendiente, que registra los datos desde el momento que el módulo fue introducido en el tanque, disminuyendo de la temperatura ambiente hasta la temperatura del tanque, estabilizándose un valor de 12,4°C.

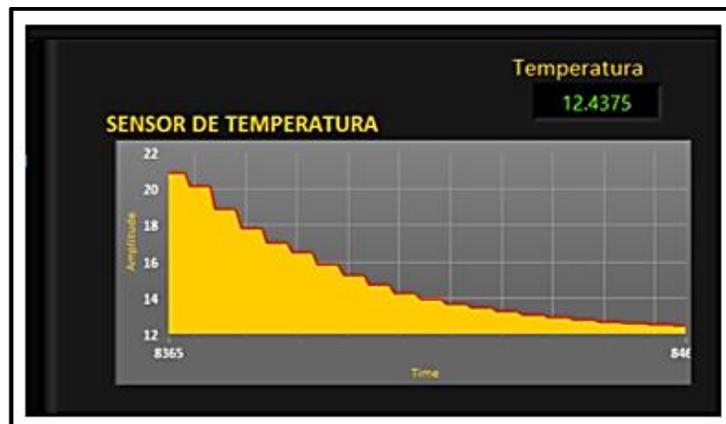


Figura 4.34. Medición de Temperatura en LabVIEW, tanque DAFII.

Al igual que la temperatura y la turbiedad, la conductividad se visualiza en la Figura 4.35., obteniendo un valor aproximado de 358,13 uS, esto implica que el nivel aproximado de salinidad es 179,068 PPM,

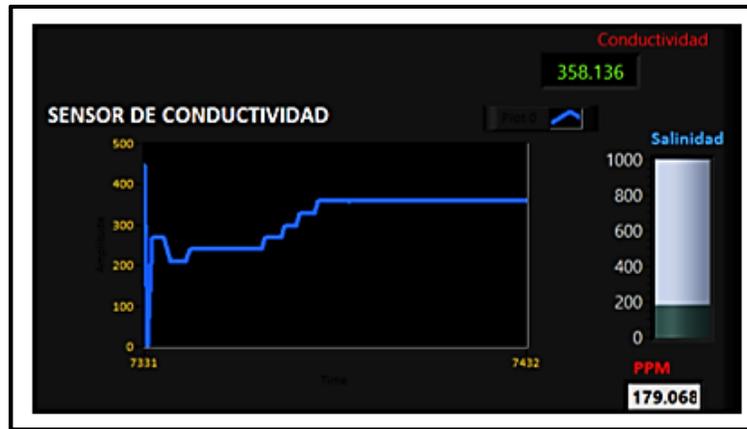


Figura 4.35. Medición de Conductividad en LabVIEW, tanque DAFII.

Mediciones en el tanque de almacenamiento de agua potable.

Luego, para comprobar la variación de los parámetros, se trasladó al módulo hacia un tanque contenedor con agua potable, dando como medida un valor de 3,84 NTU de turbiedad, 10,43°C de temperatura, de conductividad 119,37 uS y 59,68 PPM respectivamente. A continuación se visualiza los datos del sensor de turbiedad en la Figura 4.36.



Figura 4.36. Medición de Turbiedad en LabVIEW, tanque de Almacenamiento.

Aunque la variación de temperatura no fue tan alta, el cambio es notorio, ya que disminuyó de 12,43°C a 10,43°C en agua potable (véase la Figura 4.37.).

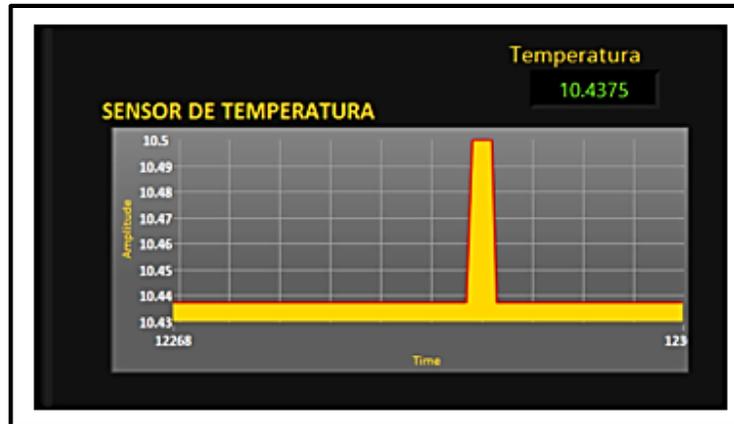


Figura 4.37. Medición de Temperatura en LabVIEW, tanque de Almacenamiento.

Al igual que la temperatura y la turbiedad, la conductividad también varió, ya que la cantidad de sales contenidas disminuyó en el proceso de potabilización, esto se visualiza en la Figura 4.38., obteniendo un valor aproximado de 119,37 uS, y un nivel de salinidad de 59,68 PPM, valores que son aptos para consumo humano.

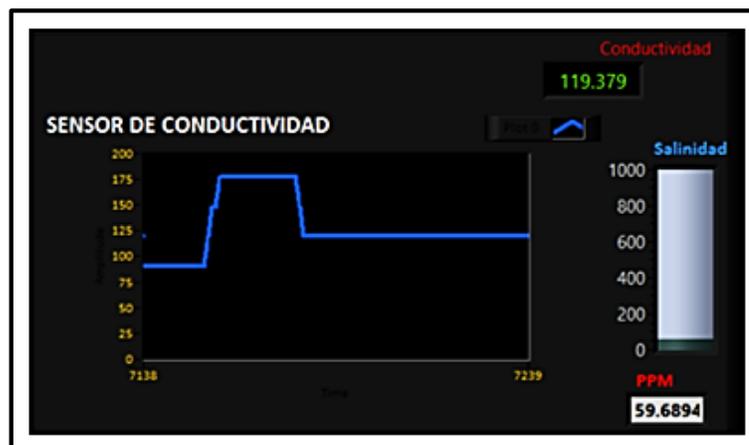


Figura 4.38. Medición de Conductividad en LabVIEW, tanque de Almacenamiento.

4.3.4.2. Pruebas de Medición en laguna Toreadora.

Para las pruebas en la laguna Toreadora (véase la Figura 4.39.), se solicitó un permiso, al guardia zonal para poder ingresar a la laguna, posteriormente se preparó el equipo para realizar las pruebas, a continuación se presentan los resultados.



Figura 4.39. Mediciones de parámetros del agua, laguna Toreadora.

Se procedió a introducir el módulo móvil en una laguna de poca profundidad, registrando un valor de conductividad de 177.612 uS, esto indicando que el agua en el cajas posee bajo nivel de sales en sus aguas (véase la Figura 4.40.).

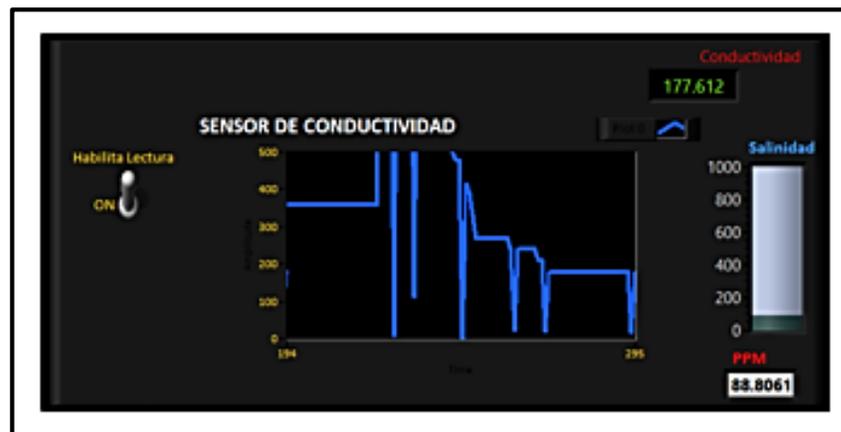


Figura 4.40. Medición de Conductividad en LabVIEW, laguna Toreadora.

La medición de turbiedad se registró en 47.32 NTU (véase la Figura 4.41.), este valor se debe a que en la lagua existían concentraciones de lodo y algas.



Figura 4.41. Medición de Turbiedad en LabVIEW, laguna Toreadora.

El valor de temperatura medido fue de 10.625 grados centígrados, recordando que la medición se realizó en la superficie de la laguna ya que si se hubiese realizado en un nivel más profundo la temperatura fuera menor (véase la Figura 4.42.).

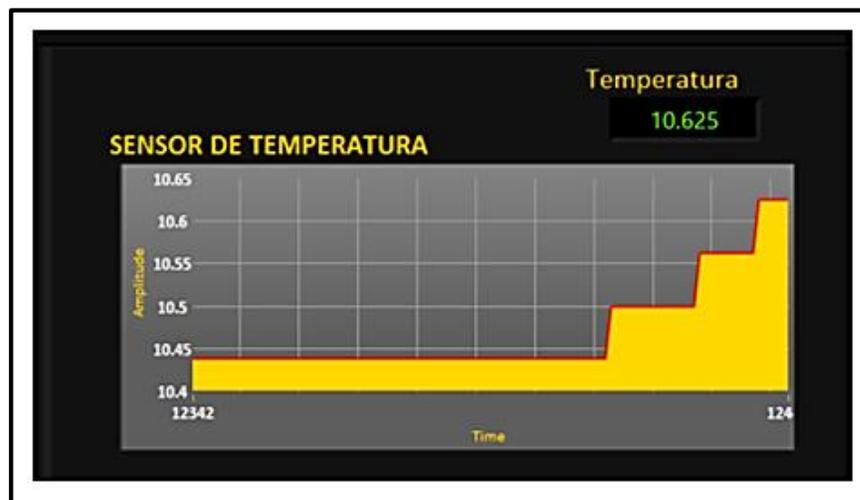


Figura 4.42. Medición de Temperatura en LabVIEW, laguna Toreadora.

Pruebas de medición de Voltaje de la batería.

Durante las pruebas en la laguna el voltaje inicial de la batería fue de 12.1 voltios, y luego de las mediciones de los parámetros que se hicieron, esto tomando un tiempo de aproximadamente 1 hora, se registró un voltaje de la batería de 11.94 voltios existiendo una caída de 0.16v, como se observa en la Figura 4.43.

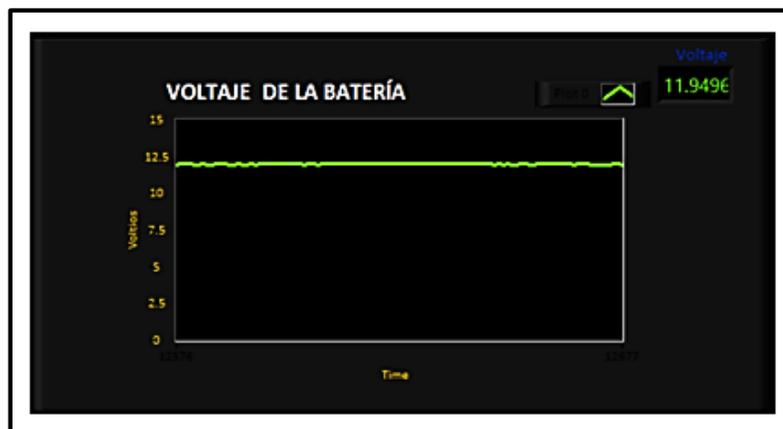


Figura 4.43. Medición del nivel de Voltaje de la batería en LabVIEW, laguna Toreadora.

Tabla 4.1. Resultados y mediciones.

Lugar	Temperatura (°C)	Conductividad (us/cm)	Turbiedad NTU
Tanque DAFFI.	12.43	358.13	38.47
Tanque agua Potable.	10.43	177.61	3.84
Laguna Toreadora.	10.62	119.37	47.32

4.3.5. Pruebas de Campo del control de carga de la batería.

Estas pruebas fueron realizadas a plena luz solar, con el fin de confirmar la funcionalidad del panel solar, para ello se utilizó un multímetro digital y de esta manera verificar los valores de voltaje (véase la Figura 4.44.).

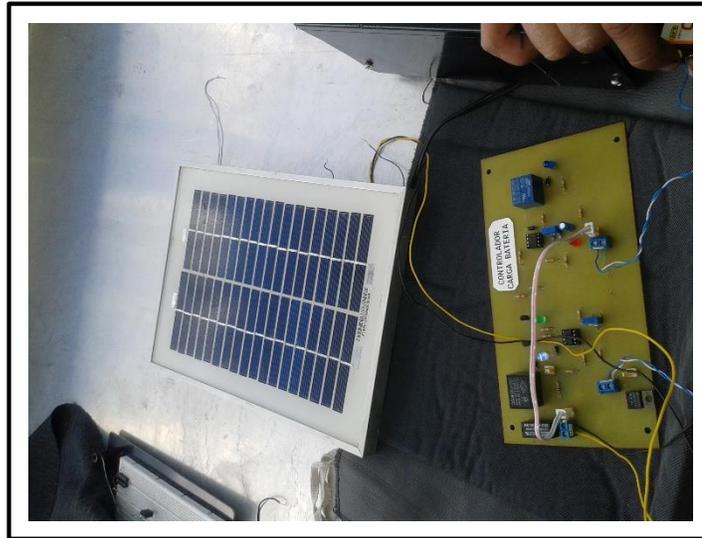


Figura 4.44. Pruebas de campo del control de carga de la batería a plena luz.

El procedimiento es el siguiente:

Si el nivel de voltaje de la batería disminuye de cierto valor (9V), entonces el panel solar empieza a cargar la batería, este valor se puede configurar mediante la variación de un potenciómetro ubicado en la placa. En la Figura 4.45., se muestra que mientras disminuye el voltaje (ver el valor de 9V en el multímetro), se enciende el led azul indicando que está cargándose la batería (véase la Figura 4.45.).



Figura 4.45. Medición del nivel de Voltaje, batería cargándose, pruebas de campo.

El panel se mantendrá cargando a la batería hasta que este sobrepase el valor de 12V, para ello, se enciende un led color verde, indicando que la carga se ha completado y el panel se desconecta de la batería, hasta que la batería se vuelva a descargar y así sucesivamente se repite el proceso (véase la Figura 4.46.).

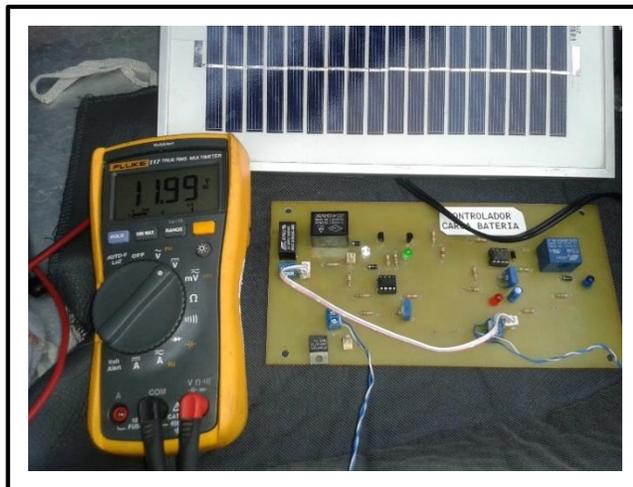


Figura 4.46. Medición del nivel de Voltaje, batería cargada, pruebas de campo.

Con esto se demuestra la utilidad del panel solar y del controlador de carga de batería del sistema, pues dado que el módulo se desplaza en entornos al aire libre, la captación de luz solar logra que el sistema sea autónomo y funcional.

CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones del trabajo realizado, estas se han obtenido en las fases de construcción y pruebas del presente trabajo.

Conclusiones respecto a los sensores Hidrológicos.

Como primera conclusión se puede decir que en todo tipo de mediciones de parámetros físicos, es necesario la calibración de los sensores, antes de realizar cualquier tipo de medición, en el caso del sensor de turbiedad construido es necesario calibrarlo determinando cual es el nivel de intensidad de luz, medido directamente antes de sumergirlo en el líquido, para tener este valor como referencia en las mediciones.

El sensor de temperatura utilizado en este trabajo, es el propicio para este tipo de mediciones, ya que es diseñado para tomar mediciones directamente en líquidos, cabe recordar que no requiere ningún tipo de amplificación o filtrado. También es importante recordar que trabaja con un protocolo de comunicación de un cable, esto quiere decir que se pueden conectar a múltiples sensores de este tipo utilizando una sola línea de comunicación.

Es importante recordar que para determinar el nivel de conductividad de un fluido es necesario medir el nivel de corriente alterna que atraviesa el mismo. Por lo que fue necesario utilizar una batería extra para generar la parte negativa de la señal de corriente alterna.

Conclusiones respecto a los enlaces de comunicación inalámbricos y formación de la red.

Lo más importante es recordar que para formar una red de sensores inalámbricos es necesario que siempre exista un nodo coordinador de la red, un enlace de red no se puede formar sin este dispositivo. Solo puede existir un nodo coordinador dentro de una red.

Cabe mencionar que la red diseñada puede ser escalable, esto quiere decir que se puede incrementar su tamaño y capacidad, ya sea aumentando el número de nodos para mayor cobertura de mediciones, o aumentar los routers para un mejor tráfico y alcance en la transmisión de información.

En el caso de que la comunicación se pierda ya sea por descarga de la batería, falla de energía, o alguna falla en un dispositivo, es posible encaminar los datos a través de algún otro dispositivo Router.

Usando la topología árbol con asignación de direcciones por defecto, se simplifica enormemente la lógica de los nodos ruteadores, ya que no necesitan armar tablas para determinar cómo retransmitir un mensaje.

Los módulos se asocian automáticamente a la red, siempre y cuando el módulo router y el coordinador estén activos.

Una de las características más destacables que tienen los módulos de comunicación inalámbrica XBee, es que pueden entrar en modo de sueño o dormido, esto quiere decir que se puede reducir considerablemente el consumo de baterías de los módulos.

Conclusiones en General sobre el Trabajo.

Sobre el sistema de propulsión del módulo móvil acuático, se determinó que el uso de motores Brushless fue la mejor alternativa ya que con estos motores se genera un gran impulso con la misma corriente que se utiliza para motores de corriente continua.

Para el funcionamiento del motor brushless fue necesario generar una señal PWM de frecuencia variable, esto se programó en el microcontrolador.

Para que el módulo funcione de manera autónoma se implementó un sistema de carga de baterías, usando un panel solar, un controlador de carga de baterías, y un indicador del voltaje de baterías, esto fue de gran utilidad ya que el operador sabe en todo momento como se encuentra el estado de energía del sistema y con esto poder tomar las acciones necesarias.

Se determinó que los mejores lugares para realizar las pruebas de funcionamiento de la red fueron las lagunas del Parque Nacional Cajas y la planta de tratamiento de agua potable de ETAPA ubicada en la parroquia Racar de la Ciudad de Cuenca, ya que cuentan con el espacio ideal para desplazamiento del módulo.

La estabilidad el módulo móvil acuático se mejoró utilizando tablas de espuma para nadar, y colocando los componentes en forma distribuida dentro del módulo.

Recomendaciones.

El diseño de las placas se puede realizar en circuitos de montaje superficial y de doble cara, además de utilizar componentes en miniatura, esto para reducir el tamaño del módulo móvil de adquisición de datos.

Se recomienda realizar las mediciones a campo abierto esto para mejorar el alcance de la señal.

Se puede implementar un módulo GPS, para conocer la posición y ubicación del módulo.

Como implementaciones o trabajos futuros se puede dotar al módulo acuático de algoritmos para navegación autónoma, seguimiento de rutas y evasión de obstáculos, utilizando inteligencia artificial y sensores de posicionamiento como brújulas giroscopios y módulos GPS.

Otra posible mejora sería el aumento de más módulos de adquisición de datos, esto sería útil por ejemplo en plantas de tratamiento de aguas dónde se tiene varias lagunas, o en el parque nacional cajas donde igual se tiene un sistema de varias lagunas.

Al módulo móvil acuático, se podría acoplar sensores mucho más robustos, con una mayor precisión., permitiendo así la medición de parámetros químicos, biológicos y radiológicos del agua, como: pH, alcalinidad, coloides, acidez mineral, solidos disueltos, cloruros, sulfuros, nitratos, metales tóxicos, gases disueltos, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- ARDUINO. (2009). Arduino. Recuperado el 18 de Marzo de 2015, de Arduino Genuino MEGA 2560: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>; <http://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoXbeeShield>
- BRIDGES, E., & Biagioni, K. (2002). The application of remote sensor technology to assist the recovery of rare and endangered species. *International Journal of High Performance Computing Applications*, vol. 16, 315-324.
- CAPRÍL, S. (2010). *El Camino del Conejo: guía practica para el*. Buenos Aires: GAE.
- CASSIOLI, L. (7 de Julio de 2014). lemev. Obtenido de La función del controlador en los motores sin escobillas Volver: http://www.lemev.com/es_ES/index/comunidadver/id/79
- CREUS, A. (1997). *INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL*. Barcelona, España: Marcombo, s.a.
- CUOMO, F. (2011). Cross-layer network formation for energy-efficient IEEE 802.15.4/ZigBee Wireless Sensor Networks, *Ad Hoc Netw.*
- DataSheetCatalog.com. (2015). L298N ficha técnica. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de L298N ficha técnica: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=L298n%20datasheet&gclid=COB1mv3Ns8gCFdQYHwodpzsAmQ>
- Digi International Inc. (23 de 06 de 2008). Manual Módulos XBee / XBee-PRO ZNet 2.5 . Obtenido de Manual Módulos XBee : <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-2.5-Manual.pdf>
- ELECTRONILAB. (s.a.). Sensor de Temperatura. Recuperado el 12 de Marzo de 2015, de Sensor de temperatura DS18B20 tipo sonda: <http://electronilab.co/tienda/sensor-de-temperatura-ds18b20-tipo-sonda/>
- ETAPA EP. (16 de 02 de 2015). *PLANTAS DE POTABILIZACIÓN*. Obtenido de *PLANTAS DE POTABILIZACIÓN SAN PEDRO*: <http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Agua-potable/Potabilizaci%C3%B3n/Plantas-urbanas>
- FARAHANI, S. (2008). *ZigBee Wireless Networks and transceivers*. Elsevier.

- HAENGGI, M. (2004). Opportunities and Challenges in Wireless Sensor Networks.
- HERNÁNDEZ, J. (12 de Febrero de 2014). Cienciascebas'sBlog. Recuperado el 11 de Junio de 2014, de Efectos de la salinidad a corto plazo:
<http://cienciacebas.wordpress.com/2014/02/12/efectos-de-la-salinidad-a-corto-plazo/>
- HILL, J. (2003). System Architecture for Wireless Sensor Networks. Ph.D. University of California at Berkeley.
- HobbyKing.com. (s. a.). Turnigy D2836/11 750KV Brushless Outrunner Motor. Recuperado el 27 de Abril de 2015, de Turnigy D2836/11 750KV Brushless Outrunner Motor:
http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__12922__Turnigy_D2836_11_750KV_Brushless_Outrunner_Motor.html.
- JIMÉNEZ, A., & Aznar, A. (21 de 06 de 1997). Calidad del agua. Obtenido de Medioambiente Tomo 1. AENOR Madrid: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- JUANG, P., Oki, H., Wang, Y., Martonosli, M., Peh, L., & Rubenstein, D. (2002). Energy-efficient computing for wildlife tracking: Design tradeoffs and early experiences with ZebraNet. Proceedings of the 10th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS-X). San José, CA.
- KAHN, J., Katz, R., & Pister, K. (1999). Next century challenges: mobile networking for smart dust, Proceedings of the ACM MobiCom'99,. Washington, USA.
- MCI Electronics. (2013). XBee.cl. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de ¿Qué es XBee?:
<http://xbee.cl/que-es-xbee/>
- MICROCHIP. (2014). PIC18F4550. Recuperado el 16 de Abril de 2015, de Ficha técnica PIC18F4550:
<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=PIC18F4550>
- Motor Corriente Continua. (s. a.). Recuperado el 12 de Abril de 2015, de Motor Corriente Continua: http://img.directindustry.es/images_di/photo-m/motor-corriente-continua-665-4779931.jpg
- MOTTOLA, L. (2007). Programming Wireless Sensor Networks: Fundamental Concepts and State of the Art. University of Trento, Italy: University of Trento, Italy and Swedish Institute of Computer Science, Sweden.

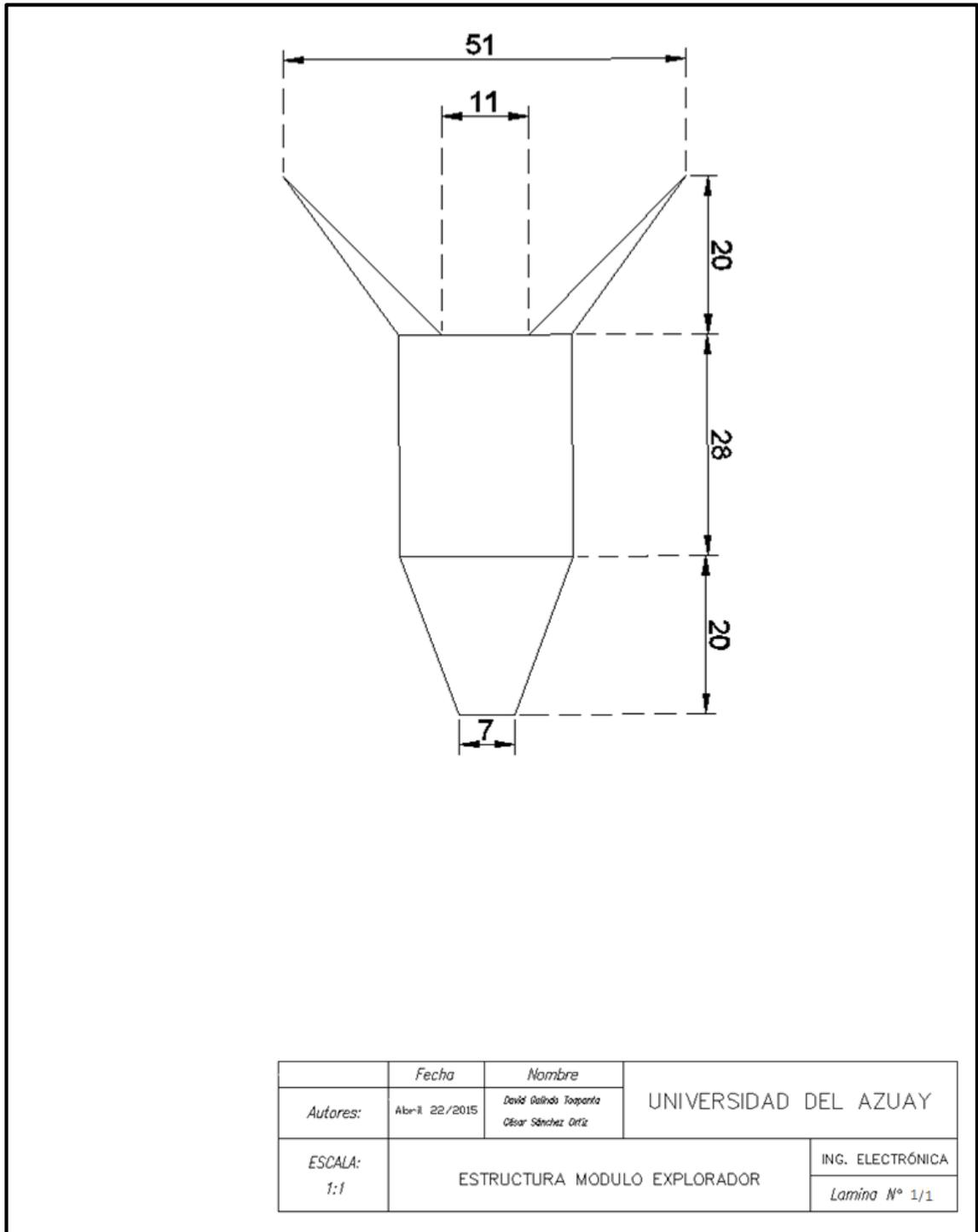
- National Instruments. (12 de Agosto de 1999). Data Acquisition (DAQ) Fundamentals. National Instruments. Obtenido de Data Acquisition (DAQ) Fundamentals.
- NAVARRA. (15 de Junio de 2011). EL AGUA EN NAVARRA. Recuperado el 11 de Junio de 2014, de Temperatura:
http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/Temperatura.htm
- O'REILLY, R. F. (2010). Building Wireless Sensor Networks. Estados Unidos, California: O'Reilly Media, Inc.
- PATEL, N., Hiren, K., & Arjav, B. (2013). WIRELESS SENSOR NETWORK USING ZIGBEE. International Journal of Research in Engineering and Technology, 2-4.
- POELLABAUER, C. (2010). FUNDAMENTALS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS THEORY AND PRACTICE. University of Notre Dame, USA: John Wiley and Sons, Ltd.
- PONDURU, A. S. (s.a.). Sensor Networks: An Overview. Department of Computer Science, University of California, Davis, CA 95616,.
- RABAEY, J., Ammer, M., Da Silva Jr., J., & Patel, R. (2000). PicoRadio supports ad hoc ultra-low power wireless networking. IEEE Computer Magazine, 42-48.
- RIAZ, A. (2005). The role of ZigBEE Technology in future data communication system. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2-3.
- SEVERICHE, C. A., Castillo, M. E., & Rosa. (16 de Septiembre de 2013). Eumed.net. Obtenido de MANUAL DE METODOS ANALÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS BÁSICOS EN AGUAS:
<http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/conductividad-agua.html>
- SINCLAIR, I. R. (2001). Sensors and Transducer. Oxford Auckland Boston Johannesburg Melbourne New Delhi: Butterworth-Heinemann.
- SPARKFUN. (2013). ZIGBEE & 802.15.4. Recuperado el 23 de Abril de 2015, de SparkFun XBee Explorer Regulated: <https://www.sparkfun.com/products/11373>
- SZE, S. (26 de Noviembre de 2007). Semiconductor Sensors. New York: Wiley-Interscience. Obtenido de Semiconductor Sensors:
<http://sensoresy-senales.blogspot.com/2007/11/sensores-y-transductores.html>

TINSHARP. (2004). DataSheet LCM Module. Recuperado el 22 de Mayo de 2015, de TC2004A-01: <https://www.adafruit.com/datasheets/TC2004A-01.pdf>

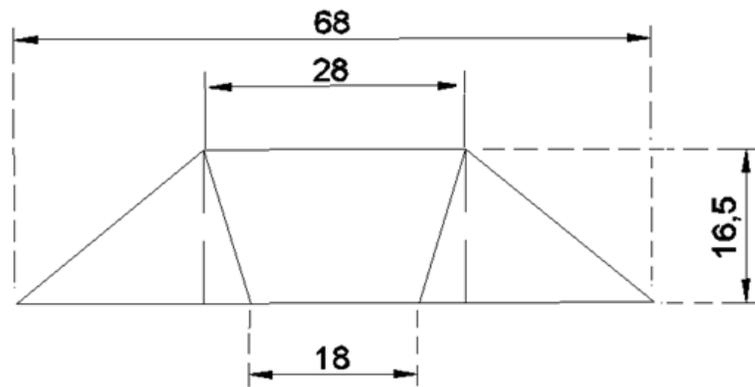
WERNER, G., Johnson, J., Ruiz, M., Lees, J. M., & Welsh. (2005). Monitoring volcanic eruptions with a wireless sensor network.

WICKER, A., & Goldsmith, S. (2002). "Design challenges for energy-constrained ad hoc wireless network". IEEE Wireless Communications Magazine, vol 9, 8-27.

YEADON, W. H., & Yeadon, A. W. (2001). HandBook on. MCGraw Hill.

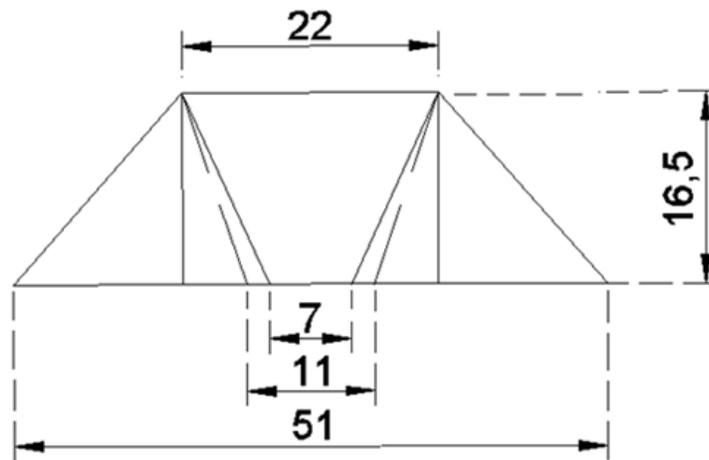
ANEXO 1: Diseño virtual de la estructura del módulo explorador en AutoCAD 2012

Vista Superior Módulo Explorador



	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
<i>Autores:</i>	Abril 22/2015	David Galindo Toapanta Óscar Sánchez Ortíz	
<i>ESCALA:</i> 1:1	ESTRUCTURA MÓDULO EXPLORADOR		ING. ELECTRÓNICA Lamina N° 1/1

Vista Lateral Derecha Módulo Explorador



	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
<i>Autores:</i>	Abr-11 22/2015	David Galindo Toapanta Oscar Sánchez Ortíz	
<i>ESCALA:</i> 1:1	ESTRUCTURA MODULO ROUTER		ING. ELECTRÓNICA Lamina N° 1/1

Vista Frontal Módulo Explorador

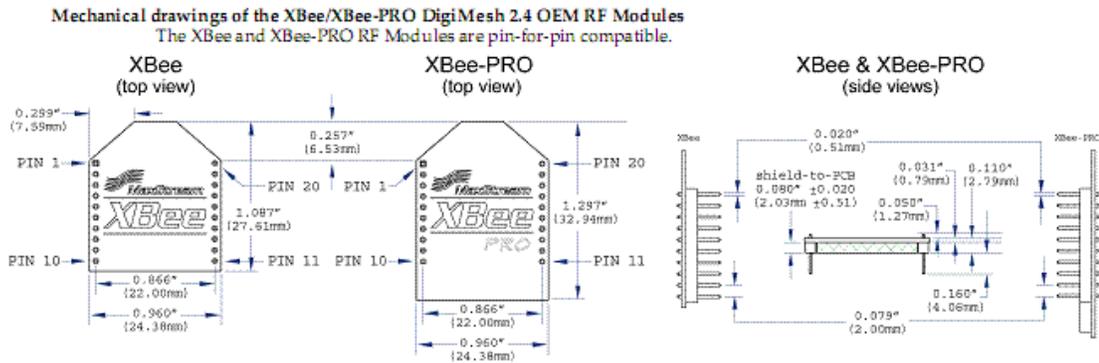
ANEXO 2: Tabla de comparación entre ZigBee, Bluetooth y WiFi.

Características	ZigBee	Bluetooth	WiFi
Frecuencia	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
Rango de Cobertura	30m-1.6km	30-300ft	100-150ft
Tasa de transferencia de Datos	250kbps	1Mbps	11-54Mbps
Consumo de Energía	Bajo	Medio	Alto
Costo	Bajo	Bajo	Alto
Modulación/Protocolo	DSSS,CSMA/CA	FHSS	DSSS/CCK,OFDM
Nodos por Red	2 -65000	8	30
Aplicaciones	Monitoreo y Control	Transferencia de Archivos	Web, Video, e-mail

ANEXO 3: Tabla de comparación entre módulo XBee regular y XBee Pro, Series 2.

Especificaciones XBee	XBee Pro	XBee PRO Series ZNet 2.5
Tensión de Alimentación	2.1 - 3.6 V 3.0 - 3.4 V	2.1 - 3.6 V 3.0 - 3.4 V
Corriente de Operación (Transmitida, Potencia máxima de salida)	40mA (@ 3.3 V, modo de impulso activado)	40mA (@ 3.3 V, modo de impulso activado)
Corriente de Operación (Recibida)	40mA (@ 3.3 V, modo de impulso activado)	40mA (@ 3.3 V, modo de impulso activado)
Corriente de reposo (Receiver off)	15mA 15mA	15mA 15Ma
Corriente de Potencia baja	< 1 uA @ 25oC < 1 uA @ 25oC	< 1 uA @ 25oC < 1 uA @ 25Oc
Power-down Current	10mW (+10 dBm) for International variant	10mW (+10 dBm) for International variant

ANEXO 4: Diseño mecánico de los pines de señal para los módulos XBee regular y XBee Pro S2.



Pin #	Nombre	Dirección	Descripción
1	VCC	-	Alimentación de Voltaje
2	DOUT	Salida	UART Dato de Salida
3	DIN / CONFIG	Entrada	UART Dato de Entrada
4	DIO12	Ambos	Digital I/O 12
5	RESET	Entrada	Módulo Reset (impulso de reposición debe ser de al menos 200 ns)
6	PWM0/RSSI/DIO10	Ambos	Salida PWM 0 / Indicador de intensidad de señal RX / Digital IO
7	PWM/DIO11	Ambos	Digital I/O 11
8	(reservado)	-	Desconectado

9	DTR / SLEEP_RQ /DIO08	Ambos	Pin línea de control del sueño o Digital IO 8
10	GND	-	Tierra
11	DIO4	Ambos	Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Ambos	Listo para enviar control de flujo o de E / S digital 7
13	ON / SLEEP / DIO9	Salida	Indicador de estado del módulo o de E / S digital 9
14	(reservado)	-	Desconectado
15	Asociado / DIO5	Ambos	Indicador Asociado, E / S digital 5
16	RTS / DIO6	Ambos	Solicitud de envío de control de flujo, E / S digital 6
17	AD3 / DIO3	Ambos	Entrada analógica 3 o E / S digital 3
18	AD2 / DIO2	Ambos	Entrada analógica 2 o E / S digital 2
19	AD1 / DIO1	Ambos	Entrada analógica 1 o E / S digital 1
20	AD0 / DIO0 / Botón de Puesta en marcha	Ambos	Entrada analógica 0, Digital IO 0, o el botón de puesta en marcha

ANEXO 5: Características Eléctricas de los módulos XBee Pro S2.

Símbolo	Parámetro	Condición	Min	Típica	Max	Unidades
V _{IL}	Entrada Voltaje Bajo	Todas las entradas digitales	-	-	0.2*VCC	V
V _{IH}	Entrada Voltaje Alto	Todas las entradas digitales	0.8*VCC	-	-	V
V _{OL}	Salida Voltaje Bajo	I _{OL} =2 mA, VCC > =2.7V	-	-	0.18*VCC	V
V _{OH}	Salida Voltaje Alto	I _{OH} = -2 mA, VCC > =2.7V	0.82*VCC	-	-	V
I _{IN}	Entrada de Corriente de fuga	V _{IN} =VCC o GND, Todas las entradas por pin	-	-	0.5uA	Ua

ANEXO 6: Diagrama de Bloques de la Interfaz Gráfica en LabVIEW.

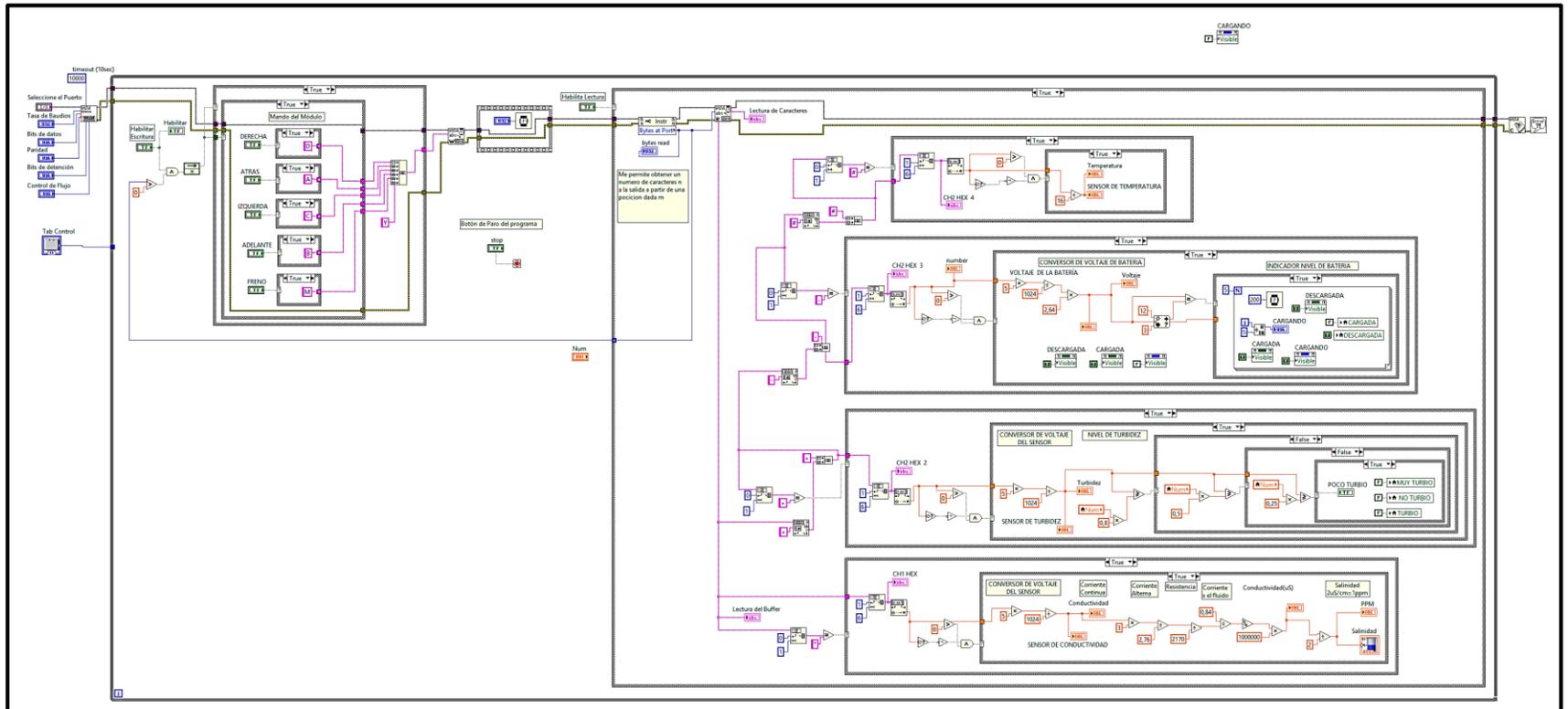


Diagrama de Bloques, Circuito General en LabVIEW.

ANEXO 7 Código Módulo Router.

```

1  //*****
2  //PROGRAMA MODULO ROUTER
3  //Autores: David Galindo, César Sánchez
4  //*****
5  #include <PString.h>
6  #include <string.h>
7  #include <stdio.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 #define MAX_STRING_LEN  50
11
12
13 //
14 #include <LiquidCrystal.h>
15
16 // LIBRERIA DE LCD
17 LiquidCrystal lcd(12, 11, 7, 6, 5, 4);
18
19
20
21
22
23 char inData[128];
24 char inChar=-1;
25 int sensorValue =0;
26 int sensorValue2 =0;
27 int sensorValue3 =0;
28 String ab;
29 int TEMP;
30 int TEMP1;
31 int TEMP2;
32 int TEMP3;
33 int led = 2;
34
35

```

```

36
37 void setup() {
38     pinMode(led, OUTPUT);
39     Serial.begin(9600);
40     Serial1.begin(9600);
41
42     // setear numero de columnas y filas
43     lcd.begin(20, 4);
44     // Imprimir mensaje inicial en LCD.
45     lcd.setCursor(8, 0);
46     lcd.print("UDA");
47     lcd.setCursor(0, 1);
48     lcd.print("ROUTER DEVICE");
49     lcd.setCursor(0, 2);
50     lcd.print("RED SENSORES");
51     lcd.setCursor(0, 3);
52     lcd.print("INALMB. HIDROLOG.");
53     delay(10000);
54     lcd.clear();
55
56 }
57
58
59 void loop() {
60
61     sensorValue = analogRead(A0);
62     sensorValue2 = analogRead(A1)/4;
63     sensorValue3 = analogRead(A2);
64     Serial1.print(sensorValue);
65     Serial1.print("*");
66     Serial1.print(sensorValue2);
67     Serial1.print("*");
68     Serial1.print(sensorValue3);
69     Serial1.print("*");
70     Serial1.print("\n");
71
72     byte numBytesAvailable= Serial1.available();

```

```

73
74     // si existen datos entrantes
75     if (Serial1.available()>0){
76
77
78     digitalWrite(led, HIGH); // indicador de coenctividad
79     delay(500);
80     digitalWrite(led, LOW);
81     delay(500);
82
83
84         lcd.setCursor(0, 0);
85     lcd.print("Temp:");
86     lcd.setCursor(0, 1);
87     lcd.print("Conduct:");
88     lcd.setCursor(0, 2);
89     lcd.print("Turbidez:");
90     lcd.setCursor(0, 3);
91     lcd.print("Volt_Bat:");
92     delay (1000);
93     // guardar datos en "inData"
94     int i;
95     for (i=0;i<numBytesAvailable;i++){
96         inChar= Serial1.read();
97         inData[i] = inChar;
98     }
99
100     inData[i] = '\0';
101
102
103
104     Serial.print(inData);
105
106
107
108     String lcdpt1 = (subStr(inData, "*",1));
109     String lcdpt2 = (subStr(inData, "+",2));

```

```
110     String lcdpt3 = (subStr(inData, "-", 3));
111     String lcdpt4 = (subStr(inData, "#", 4));
112
113     TEMP = lcdpt1.toInt();
114     float calculo = (TEMP*5.0)/1024.0;
115
116
117     TEMP1 = lcdpt2.toInt();
118     float calculo1 = (TEMP1*5.0)/1024.0;
119
120     TEMP2 = lcdpt3.toInt();
121     float calculo2 = (TEMP2*5.0)/1024.0;
122
123     TEMP3 = lcdpt4.toInt();
124     float calculo3 = (TEMP3*5.0)/1024.0;
125
126
127     if (calculo > 0 ) {
128     lcd.setCursor(13, 1);
129
130     lcd.print(calculo);
131
132     }
133
134
135
136     if (calculo1 > 0 ) {
137     lcd.setCursor(13, 2);
138
139     lcd.print(calculo1);
140
141     }
142
143     if (calculo2 > 0 ) {
144     lcd.setCursor(13, 3);
145
146     lcd.print(calculo2);
```

```
147
148 }
149
150     if (calculo3 > 0 ) {
151         lcd.setCursor(13, 0);
152
153         lcd.print(calculo3);
154
155     }
156
157 }
158 }
159
160     // funcion que retorna un string con un delimitdor como índice
161 char* subStr (char* str, char *delim, int index) {
162     char *act, *sub, *ptr;
163     static char copy[MAX_STRING_LEN];
164     int i;
165
166     //
167     strcpy(copy, str);
168
169     for (i = 1, act = copy; i <= index; i++, act = NULL) {
170         //Serial.print(".");
171         sub = strtok_r(act, delim, &ptr);
172         if (sub == NULL) break;
173     }
174     return sub;
175
176 }
```

ANEXO 8 Código Módulo Móvil

```

1  //***PROGRAMA PRINCIPAL PARA DISPOSITIVO MOVIL****
2  //Autores: David Galindo, César Sánchez
3  //Usando Pic 18F4450
4
5
6
7  // LCD pines de conexión
8  sbit LCD_RS at LATB5_bit;
9  sbit LCD_EN at LATB4_bit;
10 sbit LCD_D4 at LATB3_bit;
11 sbit LCD_D5 at LATB2_bit;
12 sbit LCD_D6 at LATB1_bit;
13 sbit LCD_D7 at LATB0_bit;
14
15 sbit LCD_RS_Direction at TRISB5_bit;
16 sbit LCD_EN_Direction at TRISB4_bit;
17 sbit LCD_D4_Direction at TRISB3_bit;
18 sbit LCD_D5_Direction at TRISB2_bit;
19 sbit LCD_D6_Direction at TRISB1_bit;
20 sbit LCD_D7_Direction at TRISB0_bit;
21 // FIN LCD pines de conexión
22
23 unsigned short current_duty, old_duty, current_duty1, old_duty1;
24
25
26 char *texto = "000";
27 char text1[] = "Temp:";
28 char text2[] = "Conduct:";
29 char text3[] = "Turbidez:";
30 char text4[] = "Volt_Bat:";
31 char text5[] = "Radiación_Solar:";
32 char text6[] = "Estado de Batería";
33 unsigned int Radc = 0;           // Guarda los datos de la lectura
34                                 // del AN0
35

```

```

36  unsigned int Radc1 = 0;           // Guarda los datos de la lectura
37  del AN1
38  unsigned int Radc2 = 0;           // Guarda los datos de la lectura
39  del AN2
40  unsigned int Radc3 = 0;           // Guarda los datos de la lectura
41  del AN3
42  unsigned int Radc4 = 0;           // Guarda los datos de la lectura
43  del AN4
44  double voltaje;                   // Cadena para conversion FloatToStr
45  unsigned tempe;
46  char buffer[10];
47  char uart_rd;
48  int delay1;
49  int time_ini =0;
50  int pulso1 = 1000;   ///para motor brushless
51  int contador1;
52  long tlong;
53  unsigned char ch;
54  unsigned char duty = 0;
55  char textdab;
56  char textdab1;
57  char *tempC = "000.";             // Apuntador, Voltaje final
58  char *tempC1 = "000.";           // Apuntador, Voltaje final
59  char *tempC2 = "000.";           // Apuntador, Voltaje final
60  char *tempC3 = "000.";           // Apuntador, Voltaje final
61
62  const unsigned short TEMP_RESOLUTION = 12;
63
64  char *text = "000.00";
65  unsigned temp;
66  unsigned char temp_whole;
67  unsigned int temp_fraction;
68
69
70  unsigned int angle=0,i;
71  void cs_delay(unsigned int);      ///CONTROL PWM BRUSHEELS
72  void cs_delay_up(unsigned int);
73  void cs_delay_down(unsigned int);
74

```

```
75
76 //*****
77 // Inicio de la Secuencia para Configuracion y lectura de Sensor de
78 Temperatura
79 //*****
80 void Display_Temperature(unsigned int temp2write) {
81     const unsigned short RES_SHIFT = TEMP_RESOLUTION - 8;
82
83
84     if (temp2write & 0x8000) {
85         LCD_Chr(1,12,'-');
86         temp2write = ~temp2write + 1;
87     }
88     else{
89         LCD_Chr(1,10,' ');
90     }
91
92     // Extraer Temperatura
93     temp_whole = temp2write >> RES_SHIFT ;
94
95
96     // Convertir a caracteres
97     if (temp_whole/100)
98         text[0] = temp_whole/100 + 48;
99     else
100         text[0] = ' ';
101
102     text[1] = (temp_whole/10)%10 + 48; // Extraer dies digitos
103     text[2] = temp_whole%10 + 48; // Extraer ones digitos
104
105     // Extraer la temperatura
106     temp_fraction = temp2write << (4-RES_SHIFT);
107     temp_fraction &= 0x000F;
108     temp_fraction *= 625;
109     text[3] = '.';
110     // Convertir a caracteres
111     text[4] = temp_fraction/1000 + 48;
```

```

112 text[5] = (temp_fraction/100)%10 + 48;
113
114
115 // Imprimir la temperatura
116 Lcd_Out(1, 11, text);
117
118 }
119
120 // *****
121 // Fin de la Secuencia para Configuracion y lectura de Sensor de
122 //Temp.*****
123
124 void main() {
125     short duty = 0;
126     CMCON |= 7; // Deshabilito Comparadores
127
128     TRISD0_bit = 1;
129     ADCON1=0x06;
130
131     ADCON1 = 0;
132     TRISA = 0x0D; // AN0, AN2, AN3 como entradas
133     CMCON=7; //Comparadores en OFF
134     INTCON=0;
135     TRISA = 0xFF; // Set PORT A como entradas
136     ADCON0 =0;
137     ADCON1 = 0x82;
138     ADCON2 = 0b10010101;
139
140
141     CMCON |= 7; // Disable Comparators
142     ADC_Init(); // Iniciar modulo ADC
143     UART1_Init(9600); // Iniciar comunicacion Serial
144
145
146 // *****
147 // Configuración e inicio del Lcd Matricial
148 //*****

```

```

149
150   LCD_Init();           // Iniciar LCD
151   Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);  // Limpieza del LCD
152   Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Apagar cursor del LCD
153   Lcd_Out(1,1,text1);   // Muestra el texto en el LCD
154   Lcd_Out(2,1,text2);   // Muestra el texto en el LCD
155   Lcd_Out(3,1,text3);   // Muestra el texto en el LCD
156   Lcd_Out(4,1,text4);   // Muestra el texto en el LCD
157   Lcd_Chr(1,19,223);    // Simbolo de grado
158   Lcd_Chr(1,20,'C');    // Mostrar la C para centigrados
159   Lcd_Chr(2,19,'u');    // Simbolo de Micro
160   Lcd_Chr(2,20,'S');    // Mostrar la S para Siemens
161   Lcd_Chr(3,18,'N');    // Simbolo
162   Lcd_Chr(3,19,'T');    // Mostrar
163   Lcd_Chr(3,20,'U');    // NTU
164   Lcd_Chr(4,20,'v');    // v voltios
165
166
167   Delay_ms(100);        // Retardo para estabilizar Modulos
168
169
170
171
172 // *****
173 // Configuracion de Pines
174 //*****
175   TRISC.F2 = 0; //PORTC as output
176   TRISC.F1 = 0; //PORTC as output
177
178   PWM1_Init(5000); //Initialize PWM1
179   PWM1_Start(); //start PWM1
180   PWM1_Set_Duty(duty); //Set current duty for PWM1
181
182
183   TRISE.F0 = 0; //puerto E como salida
184   TRISE.F1 = 0;
185   TRISE.F2 = 0;

```

```

186 PORTE.F0 = 0;
187 PORTE.F1 = 0;
188 PORTE.F2 = 0;
189
190
191 TRISD.F1 = 0; //puerto D como salida
192 TRISD.F2 = 0;
193 TRISD.F3 = 0;
194 TRISD.F4 = 0;
195 TRISD.F5 = 0;
196 TRISD.F6 = 0;
197 TRISD.F7 = 0;
198 //PORTD.F0 = 0;
199 PORTD.F1 = 0;
200 PORTD.F2 = 0;
201 PORTD.F3 = 0; // para control de motor brushless
202 PORTD.F4 = 0;
203 PORTD.F5 = 0;
204 PORTD.F6 = 0;
205 PORTD.F7 = 0;
206
207
208 // *****
209 // Secuencia de Inicio para Motor Brusheels
210 //*****
211
212
213 for (time_ini=0; time_ini < 500; time_ini += 1)
214 {
215     LATD.F3=1; //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA D0
216     Delay_us(1100); //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 300 ms
217 // PORTE.F1=0; //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D0
218     LATD.F3=0; //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D0
219     Delay_ms(18); //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 300 ms
220 }
221
222

```

```

223
224
225
226
227 // *****
228 // Inicio del Programa Pincipal
229 //*****
230
231 do {
232 //--- Leer la tempearura del sensor conectado al puerto D.0
233 Ow_Reset(&PORTD, 0); // Onewire reset signal
234 Ow_Write(&PORTD, 0, 0xCC); // Issue command SKIP_ROM
235 Ow_Write(&PORTD, 0, 0x44); // Issue command CONVERT_T
236 Delay_us(120);
237
238 Ow_Reset(&PORTD, 0);
239 Ow_Write(&PORTD, 0, 0xCC); // Issue command SKIP_ROM
240 Ow_Write(&PORTD, 0, 0xBE); // Issue command READ_SCRATCHPAD
241
242 temp = Ow_Read(&PORTD, 0);
243 temp = (Ow_Read(&PORTD, 0) << 8) + temp;
244
245 //--- Se imprime el resultado en el Lcd
246 Display_Temperature(temp);
247
248
249
250 // *****
251 // Adquicion y lectura de datos Analógicos
252 //*****
253
254
255     Radc = ADC_Get_Sample(0); // Lectura del Canal AN0
256     Radc1 = ADC_Get_Sample(1); // Lectura del Canal AN0
257     Radc2 = ADC_Get_Sample(2);
258     Radc3 = ADC_Get_Sample(3);
259 tlong = (long)Radc * 5000; // Convertir el resultado en milivoltios

```

```

260  tlong = tlong / 1023;          // 0..1023 -> 0-5000mV
261  tempC[0] = (tlong/1000) + 48;
262  tempC[1] = ('. ');
263  tempC[2] = (tlong/100)%10 + 48;
264  tempC[3] = (tlong/10)%10 + 48;
265  Lcd_Out(2,13,tempC);
266  Lcd_Out(2,18," ");
267  UART1_Write('*');           // Manda los datos al UART
268  // floattostr(Radc,text);
269  inttostr(Radc,texto);
270  // longtostr(tlong,text);
271  UART1_Write_Text (texto);
272
273
274  tlong = (long)Radc1 * 5000; //Convertir el resultado en milivoltios
275  tlong = tlong / 1023;          // 0..1023 -> 0-5000mV
276  tempC1[0] = (tlong/1000) + 48;
277  tempC1[1] = ('. ');
278  tempC1[2] = (tlong/100)%10 + 48;
279  tempC1[3] = (tlong/10)%10 + 48;
280  Lcd_Out(3,13,tempC1);
281  UART1_Write('+');           // Manda los datos al UART
282
283  inttostr(Radc1,texto);
284  UART1_Write_Text (texto);
285
286
287
288
289  tlong = (long)Radc2 * 5000; // Convertir el resultado en milivoltios
290  tlong = tlong / 1023;          // 0..1023 -> 0-5000mV
291  tempC2[0] = (tlong/1000) + 48;
292  tempC2[1] = ('. ');
293  tempC2[2] = (tlong/100)%10 + 48;
294  tempC2[3] = (tlong/10)%10 + 48;
295  Lcd_Out(4,13,tempC2);
296  UART1_Write('-');           // Manda los datos al UART

```

```

297
298     inttostr(Radc2,texto);
299     UART1_Write_Text (texto);
300
301
302     UART1_Write('#');      // Manda los datos al UART
303
304     inttostr(temp,textdab);
305     UART1_Write_Text (textdab);
306     UART1_Write(0x0D);    //Retorno de Carro
307     UART1_Write(0x0A);    //Salto de línea
308     Delay_ms(50);        // Regula la velocidad en la cual se
309     realizara
310     // la conversión.
311     // *****
312     // Recepción de Datos por el UART
313     //*****
314
315
316     if (UART1_Data_Ready()) {      // Si existe dato recibido,
317         uart_rd = UART1_Read();    // leer el dato recibido,
318         if (uart_rd == 'A' ){
319
320             PORTD.F4=1;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA D0
321             Delay_ms(1000); //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 300 ms
322             PORTE.F1=0;    //PRENDO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO E1
323             PORTD.F4=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D4
324             PORTD.F6=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D6
325             duty = duty++ ;//10; //increment current_duty
326             PWM1_Set_Duty(duty); //Change the duty cycle
327             Delay_ms(40);
328
329
330             for (time_ini=0; time_ini < 50; time_ini += 1)
331             {
332                 PORTD.F1=1;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA D1
333                 Delay_us(1500); //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 1500 us

```

```

334 PORTD.F1=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D1
335   Delay_ms(18);    //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 18 ms
336 }
337
338
339
340   }
341   if (uart_rd == 'B' ){
342
343       PORTD.F5=1;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA  D5
344       Delay_ms(1000);    //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 1000 ms
345   PORTE.F0=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO F0
346   PORTD.F5=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D5
347   PORTD.F7=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D7
348
349       duty = duty--;    //decrement duty
350       PWM1_Set_Duty(duty);
351       Delay_ms(40);
352
353   }
354
355
356
357   if (uart_rd == 'C' ){
358       PORTE.F0=1;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA  E0
359       PORTD.F6=1;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA  D6
360
361       Delay_ms(1000);    //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 300 ms
362   PORTE.F0=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO E0
363   PORTD.F6=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D6
364
365
366       for (time_ini=0; time_ini < 50; time_ini += 1)
367   {
368       PORTD.F1=1;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA  D0
369       Delay_us(1000);    //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 300 ms
370   // PORTE.F1=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D0

```

```

371     PORTD.F1=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D0
372     Delay_ms(18); //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 300 ms
373 }
374
375
376     }
377
378
379     if (uart_rd == 'D' ){
380         PORTE.F1=1;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA D0
381         // PORTE.F0=0;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA D0
382         PORTD.F7=1;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA D0
383
384         Delay_ms(1000); //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 300 ms
385         PORTE.F1=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D0
386         // PORTE.F0=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D0
387         PORTD.F7=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D0
388
389         for (time_ini=0; time_ini < 50; time_ini += 1)
390         {
391             PORTD.F1=1;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA D0
392             Delay_us(1900); //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 300 ms
393             // PORTE.F1=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D0
394             PORTD.F1=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D0
395             Delay_ms(18); //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 300 ms
396         }
397
398     }
399
400
401     if (uart_rd == 'I' ){
402         // SECUENCIA DE INICIO PARA MOTOR BRUSHLESS
403
404         for (time_ini=0; time_ini < 500; time_ini += 1)
405         {
406             LATD.F3=1;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA D0
407             Delay_us(1100); //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 300 ms

```

```

408 // PORTE.F1=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D0
409     LATD.F3=0;    //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO D0
410     Delay_ms(18); //ESTE PERMANECERA ENCENDIDO POR 300 ms
411 }
412
413     }
414
415     if (uart_rd == 'M' ){
416     PORTE.F2=1;    //MANDO UN 1 LOGICO AL PUERTO DE SALIDA E2 LED AZUL
417
418     for(angle=0;angle<=100;angle+=1) // Incrementa la veolcidad
419     {
420     for(i=0;i<1;i++) // ciclo que envía tren de pulso
421     {
422     LATD.F3=1; // pulso alto
423     cs_delay_up(angle); // llamar función de Retardo
424     LATD.F3=0; // pulso bajo
425     Delay_ms(18);
426     }
427     }
428
429
430     for(angle=100;angle>0;angle-=1) // Decremneta la velocidad
431     {
432     for(i=0;i<1;i++) // ciclo que envía tren de pulso
433     {
434     LATD.F3=1; // pulso alto
435     cs_delay_down(angle); // llamar función de Retardo
436     LATD.F3=0; // pulso bajo
437     Delay_ms(18);
438     }
439     }
440
441     PORTE.F2=0; //APAGO EL LED, MANDO UN CERO LOGICO AL PUERTO E2 LED
442     //AZUL
443     }
444

```

```
445     Delay_ms(10);
446 }
447
448
449
450 } while (1);
451
452
453 }
454
455
456 // *****
457 // Secuencia de conteo de subida y bajada para mover Motor Brushless
458 //*****
459
460
461 void cs_delay_up(unsigned int count)
462 {
463     int j=0;
464     Delay_us(550);
465     for(j=0;j<count;j++)
466     {
467         Delay_us(6);
468     }
469 }
470
471 void cs_delay_down(unsigned int count)
472 {
473     int j=0;
474     Delay_us(550);
475     for(j=count;j>=0;j--)
476     {
477         Delay_us(6);
478     }
479 }
```

ANEXO 9 Consumo de Potencia del Proyecto.

- *Consumo de los dispositivos que forman parte del módulo móvil.*

DISPOSITIVO	CONSUMO (mA)
PIC 18F4550	2
Sensor Conductividad	30
Sensor Turbidez	20
Sensor Temperatura	5
Pantalla LCD	10
Circuito controlador de Carga de Batería	40
TOTAL	107

- *Consumo de los Motores.*

DISPOSITIVO	CONSUMO (mA)
Motores DC	300
Motor Brushless	2000
TOTAL	2300