



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES

“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UNA RED DE SENSORES
INALÁMBRICOS PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE
AGUA PARA USO RECREATIVO EN EL DIQUE FÁTIMA”

TRABAJO DE TITULACIÓN: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Para optar al Grado Académico de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

AUTORA: JÉSSICA ALEXANDRA MONTERO VALENCIA

TUTOR: ING. MARCO VINICIO RAMOS VALENCIA Msc.

Riobamba – Ecuador

2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que el proyecto técnico: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UN RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA USO RECREATIVO EN EL DIQUE FÁTIMA, de responsabilidad de la señorita Jéssica Alexandra Montero Valencia, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Washington Luna

**DECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

Ing. Franklin Moreno

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN
TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

Ing. Vinicio Ramos Valencia MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. José Guerra

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Jéssica Alexandra Montero Valencia soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jéssica Alexandra Montero Valencia

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios por darme la oportunidad de superarme cada día, por ser mi apoyo y consuelo en los momentos difíciles de la carrera y darme la bendición para lograr éxitos a lo largo de mi vida académica.

A mis padres Marcelo y Narcisa por ser mi ejemplo de superación, darme su apoyo incondicional y, que gracias a su esfuerzo y trabajo me han dado todo para mi formación para cumplir una meta más en mi vida. A mi hermana Evelin quien es mi compañera de vida y siempre me brindo sus consejos.

Jéssica

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien me da la vida y me llena de bendiciones para culminar mi carrera universitaria en esta institución.

A mis padres y hermana por ser el pilar de mi vida, por darme su apoyo moral y acompañarme siempre en mi preparación académica. A toda mi familia y en especial a mis abuelitos Elsia y Nelson quienes siempre estuvieron pendientes de mí para brindarme su apoyo.

A mis amigos que ahora son parte de mi familia y con quienes viví tristezas, alegrías y logros. Les agradezco por brindarme su amistad desinteresada, apoyarme y compartir hermosos e inolvidable momentos.

Al Ingeniero Vinicio Ramos, Director del trabajo de titulación, por su ayuda, consejos y asesoramiento en la investigación.

Al Ab. Antonio Kubes Prefecto de la provincia de Pastaza por permitirme realizar el presente trabajo en el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza. A los ingenieros Marcelo Montero, Patricia Arcos y Fabricio Ríos de la Dirección de Gestión Ambiental por su colaboración profesional.

Jéssica

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE ANEXOS.....	13
RESUMEN.....	14
SUMMARY	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	20
1.1 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.....	20
<i>1.1.1 Criterios de Calidad de las aguas para sus distintos usos</i>	<i>21</i>
<i>1.1.2 Criterios de calidad para aguas con fines recreativos</i>	<i>21</i>
1.2 Redes Inalámbricas	22
<i>1.2.1 Redes de Sensores Inalámbricos</i>	<i>22</i>
<i>1.2.1.1 Gateway o nodo central.....</i>	<i>23</i>
<i>1.2.1.2 Estación Base</i>	<i>23</i>
<i>1.2.1.3 Nodo sensor</i>	<i>23</i>
1.3 Tarjetas de Desarrollo para Redes de Sensores Inalámbricos	25
<i>1.3.1 Arduino</i>	<i>25</i>
<i>1.3.2 Waspote de Libelium</i>	<i>26</i>
<i>1.3.3 Raspberry Pi.....</i>	<i>27</i>
1.4 Comunicación Inalámbrica	28
<i>1.4.1 Clasificación de las Redes Inalámbricas</i>	<i>28</i>
<i>1.4.2 Estándares de comunicaciones inalámbricas para las WSN.....</i>	<i>29</i>
<i>1.4.2.1 Estándar IEEE 802.11</i>	<i>29</i>
<i>1.4.2.2 Estándar IEEE 802.15</i>	<i>29</i>
<i>1.4.3 Estándares más usados para las Redes de Sensores Inalámbricos.....</i>	<i>30</i>
<i>1.4.3.1 Wi-Fi.....</i>	<i>30</i>
<i>1.4.3.2 Bluetooth.....</i>	<i>32</i>
<i>1.4.3.3 Zigbee</i>	<i>32</i>
<i>1.4.4 Topologías de Redes de Sensores Inalámbricos</i>	<i>33</i>
<i>1.4.4.1 Topología Estrella</i>	<i>33</i>
<i>1.4.4.2 Topología Malla</i>	<i>34</i>
<i>1.4.4.3 Topología Híbrida Estrella – Malla</i>	<i>34</i>
1.5 Consideraciones sobre la Implementación de una Red Inalámbrica.....	35

1.5.1	<i>Seguridad de las Redes Inalámbricas</i>	35
1.6	Almacenamiento de Datos	35
CAPÍTULO II		
2.	MARCO METODOLÓGICO	36
2.1.	Ubicación del Proyecto	36
2.2.	Requerimientos del Proyecto RMF	37
2.3.	Diseño del prototipo de la red de Sensores Inalámbricos del proyecto RMF	37
2.3.1.	<i>Módulo de Muestreo de los Nodos</i>	38
2.3.2.	<i>Módulo de recolección de datos – Nodo central</i>	38
2.4.	Parámetros Físico-Químicos para el proyecto RMF	39
2.4.1.	<i>Oxígeno Disuelto</i>	39
2.4.2.	<i>Potencial Hidrogeno</i>	40
2.4.3.	<i>Temperatura</i>	40
2.4.4.	<i>Turbidez</i>	41
2.5.	Metodología para la selección de los elementos para el proyecto RMF	41
2.6.	Selección del Hardware del proyecto RMF	42
2.6.1.	<i>Selección de la Topología de Red</i>	42
2.6.2.	<i>Selección de la Tecnología Inalámbrica</i>	43
2.6.3.	<i>Selección de los Sensores</i>	46
2.6.3.1.	<i>Selección del Sensor de Oxígeno Disuelto</i>	46
2.6.3.2.	<i>Selección del Sensor de pH</i>	49
2.6.3.3.	<i>Selección del Sensor de Temperatura</i>	52
2.6.3.4.	<i>Selección del Sensor de Turbidez</i>	54
2.6.4.	<i>Selección de las Tarjetas de Desarrollo</i>	57
2.6.4.1.	<i>Selección de la tarjeta de desarrollo para el módulo de muestreo</i>	57
2.6.4.3.	<i>Selección de la tarjeta de desarrollo para el módulo de recolección de datos</i>	61
2.6.5.	<i>Selección de los Módulos con Tecnología Inalámbrica Zigbee</i>	67
2.6.6.	<i>Selección de la Fuente de Alimentación</i>	69
2.6.7.	<i>Selección del Almacenamiento de Datos</i>	70
2.6.8.	<i>Dispositivos adicionales</i>	71
2.7.	Esquema de conexión del proyecto RMF	72
2.7.1.	<i>Esquema de conexión del módulo de muestreo</i>	72
2.7.2.	<i>Esquema de conexión del módulo de recolección de datos</i>	73
2.8.	Software del proyecto RMF	74
2.8.1.	<i>Software de los módulos de comunicación inalámbrica Xbee</i>	75
2.8.1.1.	<i>Herramienta de software XCTU</i>	75

2.8.1.2.	<i>Programación de los módulos Xbee</i>	75
2.8.2.	Software del módulo de muestreo	75
2.8.2.1.	<i>Herramienta de software Arduino IDE</i>	75
2.8.3.	Software del módulo de recolección de datos	77
2.8.3.1.	<i>Sistema Operativo Raspbian</i>	77
2.8.3.2.	<i>Diagrama de Flujo del programa principal del módulo de recolección de datos</i>	78
2.9.	Diseño de la Aplicación para Usuarios Finales	80
CAPÍTULO III		
3.	MARCO DE PRUEBAS Y RESULTADOS	82
3.1.	Calibración de sensores del prototipo del proyecto RMF	82
3.1.1.	<i>Calibración del sensor de oxígeno disuelto</i>	82
3.2.	Pruebas del prototipo del proyecto RMF	83
3.2.1.	<i>Pruebas de la fuente de alimentación del módulo de muestreo</i>	83
3.2.2.	<i>Pruebas del módulo de muestreo</i>	83
3.2.3.	<i>Repetitividad del módulo de muestreo</i>	87
3.2.4.	<i>Pruebas de la comunicación inalámbrica entre los módulos del RMF</i>	88
3.2.4.1.	<i>Comunicación entre los módulos Xbee</i>	88
3.2.4.2.	<i>Comunicación entre el módulo de muestreo y el módulo de recolección de datos</i>	88
3.2.5.	<i>Pruebas de almacenamiento de datos</i>	89
3.3.	Funcionamiento del prototipo del Proyecto RMF	89
3.4.	Análisis económico del proyecto RMF	91
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES		94
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Criterios de la calidad de agua para aguas para fines recreativos mediante contacto primario.....	21
Tabla 2-1: Clasificación de las Redes Inalámbricas según su cobertura.....	28
Tabla 3-1: Variantes del estándar IEEE 802.11	29
Tabla 4-1: Variantes del estándar IEEE 802.15	30
Tabla 5-1: Canales y frecuencias distribuidas para la banda 2.4GHz.....	31
Tabla 6-1: Canales y frecuencias distribuidas para la banda 5GHz.....	31
Tabla 7-1: Alcance y potencia de las clases de Bluetooth	32
Tabla 1-2: Ubicación del proyecto RMF - Dique Fátima	36
Tabla 2-2: Escala de evaluación para las características.....	41
Tabla 3-2: Características de tres tipos de topologías de red	42
Tabla 4-2: Grado de importancia de las características de las topologías de red.....	42
Tabla 5-2: Calificación cuantitativa de las características de las topologías de red.....	43
Tabla 6-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de las topologías de red	43
Tabla 7-2: Características de las tecnologías inalámbricas.....	44
Tabla 8-2: Grado de importancia de las características de las tecnologías inalámbricas.....	45
Tabla 9-2: Calificación cuantitativa de las características de las tecnologías inalámbricas	45
Tabla 10-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de las tecnologías inalámbricas	46
Tabla 11-2: Características de los modelos de sensores de Oxígeno Disuelto	47
Tabla 12-2: Grado de importancia de los sensores de Oxígeno Disuelto	48
Tabla 13-2: Calificación cuantitativa de las características de los modelos de sensores de Oxígeno Disuelto	48
Tabla 14-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de los sensores de Oxígeno Disuelto	49
Tabla 15-2: Características de los modelos de sensores de pH.....	50
Tabla 16-2: Grado de importancia de las características de los sensores de pH.....	50
Tabla 17-2: Calificación cuantitativa de las características de los sensores de pH.....	51
Tabla 18-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de los sensores de pH.	51
Tabla 19-2: Características de los modelos de los sensores de temperatura.....	52
Tabla 20-2: Grado de importancia de las características de los sensores de pH.....	53
Tabla 21-2: Calificación cuantitativa de las características de los sensores de pH.....	53

Tabla 22-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de cada sensor de pH	54
Tabla 23-2: Características de los modelos de sensores de Turbidez	55
Tabla 24-2: Grado de importancia de las características de los sensores de turbidez.....	55
Tabla 25-2: Calificación cuantitativa de las características de los sensores de turbidez	56
Tabla 26-2: Relación del grado de importancia con la calificación cuantitativa de las características de los sensores de turbidez.	56
Tabla 27-2: Características de las tarjetas de desarrollo del módulo de muestreo.....	57
Tabla 28-2: Grado de importancia de las características de las tarjetas de desarrollo del módulo de muestreo	58
Tabla 29-2: Calificación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo para el módulo de muestreo	58
Tabla 30-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de cada tarjeta de desarrollo de los nodos sensores	59
Tabla 31-2: Características de los modelos de tarjetas de desarrollo de Arduino.....	59
Tabla 32-2: Grado de importancia de las características de tarjetas de desarrollo Arduino	60
Tabla 33-2: Calificación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo de Arduino	60
Tabla 34-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo de Arduino.....	61
Tabla 35-2: Características de los modelos de tarjetas de desarrollo del módulo de recolección de datos	62
Tabla 36-2: Grado de importancia de las características de las tarjetas de desarrollo del módulo de recolección de datos	63
Tabla 37-2: Calificación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo del módulo de recolección de datos	63
Tabla 38-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo del nodo central.	64
Tabla 39-2: Características de los modelos de las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi.....	64
Tabla 40-2: Grado de importancia de las características de las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi.....	65
Tabla 41-2: Calificación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo de Raspberry Pi.....	66
Tabla 42-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi.....	66
Tabla 43-2: Características de los modelos de módulos Zigbee	67
Tabla 44-2: Grado de importancia de las características de los módulos Zigbee	68

Tabla 45-2: Calificación cuantitativa de las características de los módulos Zigbee	68
Tabla 46-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de los módulos Zigbee.....	69
Tabla 47-2: Cálculo de corriente total del proyecto RMF y duración de la batería solar	70
Tabla 48-2: Características del LCD 16x2.....	71
Tabla 49-2: Distribución de pines del LCD 16x2 para conexión con la Raspberry Pi	74
Tabla 50-2: Valores de los módulos Xbee para su programación.....	75
Tabla 51-2: Definición de pines GPIO	79
Tabla 1-3: Mediciones realizadas con los sensores de oxígeno disuelto y pH	85
Tabla 2-3: Mediciones realizadas con los sensores de temperatura y turbidez.....	86
Tabla 3-3: Repetitividad de los valores del módulo de muestreo del proyecto RMF	87
Tabla 4-3: Datos obtenidos del prototipo del proyecto RMF en el dique Fátima	90
Tabla 5-3: Análisis económico del proyecto RMF	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Elementos de una red WSN	22
Figura 2-1: Elementos de un nodo sensor.....	23
Figura 3-1: Diagrama de tipos de sensores	24
Figura 4-1: Uso de un procesador	25
Figura 5-1: Tarjetas de desarrollo de Arduino.....	26
Figura 6-1: Microprocesador Waspmode	27
Figura 7-1: Modelos de tarjetas de desarrollo Raspberry Pi.....	27
Figura 8-1: Diagrama de Evolución del Estándar IEEE 802.15.4	30
Figura 9-1: Diagrama de fases de conexión de dispositivos Bluetooth	32
Figura 10-1: Tipos de Dispositivos en una Red Zigbee.....	33
Figura 11-1: Topología de red Estrella	33
Figura 12-1: Topología de red Malla.....	34
Figura 13-1: Topología de red Híbrida Estrella-Malla	34
Figura 1-2: Ubicación del Dique Fátima con sus puntos de muestreo.....	36
Figura 2-2: Diagrama de módulos del diseño del prototipo de RMF	38
Figura 3-2: Módulo de muestreo	38
Figura 4-2: Módulo de recepción de datos	39
Figura 5-2: Kit del Sensor de Oxígeno Disuelto - Dissolved EZOTM	49
Figura 6-2: Sensor Analógico de pH	52
Figura 7-2: Sensor de Temperatura DS18B20.....	54
Figura 8-2: Sensor de Turbidez SEN0189.....	57
Figura 9-2: Arduino UNO Rev3	61
Figura 10-2: Raspberry Pi 3 Modelo B.....	67
Figura 11-2: Módulo Xbee PRO.....	69
Figura 12-2: Cargador Solar Portátil Impermeable	70
Figura 13-2: Pantalla LCD 16x2.....	71
Figura 14-2: Esquema de conexión del módulo de muestreo	73
Figura 15-2: Esquema de conexión del módulo recolector de datos	74
Figura 16-2: Diagrama de flujo para la programación del módulo de muestreo	76
Figura 17-2: Diagrama de flujo del script principal del módulo de recolección de datos.....	78
Figura 18-2: Diagrama de bloques de la aplicación para usuarios finales.....	80
Figura 19-2: Pantalla inicial de la Aplicación para usuarios finales.....	81
Figura 1-3: Calibración del sensor de pH	83
Figura 2-3: Equipos tradicionales de medición	84

Figura 3-3: Toma de medidas en el Río Puyo y en el Río Pingo Grande	84
Figura 4-3: Comunicación entre módulos Xbee	88
Figura 5-3: Comunicación entre los módulos del prototipo del proyecto RMF	89
Figura 6-3: Pruebas de almacenamiento de datos del proyecto RMF.....	89
Figura 7-3: Ubicación de los módulos del prototipo del proyecto RMF	90
Figura 8-3: Análisis de los datos obtenidos del prototipo del proyecto RMF en el dique Fátima con la aplicación de usuarios.....	91

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Hojas técnicas de los sensores del módulo de muestreo

ANEXO B: Hojas técnicas de los módulos Xbee

ANEXO C: Hojas técnicas del LCD 16x2

ANEXO D: Tablas de conversión del oxígeno disuelto

ANEXO E: *Software* del módulo de muestreo

ANEXO F: Scripts de programación del módulo de recolección de datos

ANEXO G: Manual de usuario

RESUMEN

El objetivo del trabajo de titulación fue diseñar un prototipo de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de la calidad de agua para uso recreativo en el Dique Fátima. El prototipo RMF consiste en una red inalámbrica compuesta por módulos de muestreo y un módulo de recolección de datos para realizar una monitorización in situ de la calidad de agua. Para la monitorización in situ se evalúan el oxígeno disuelto, temperatura, pH y turbidez, mediante sensores colocados en el módulo de muestreo. El módulo de muestreo envía los datos obtenidos mediante comunicación inalámbrica al módulo de recolección de datos, donde se almacenan en una memoria flash y una cuenta de Google Drive. Los datos almacenados pueden ser analizados en la aplicación de usuarios finales creada con el *software* Labview 2016. Se comprobó que el sensor de oxígeno disuelto tiene un error absoluto de ± 0.05 mg/l, el sensor de pH ± 0.08 pH y que el sensor de temperatura y turbidez presentan un error mínimo. Además, mediante la prueba de repetitividad se comprobó que los datos obtenidos de todos los sensores tienden a ser homogéneos. Las pruebas de comunicación inalámbrica demostraron que la comunicación resulta exitosa a 160 metros, suficientes para cubrir con las distancias requeridas en el diseño de red. Se concluye que el prototipo RMF es eficiente pues cumple con los requerimientos de la red, se obtiene datos fiables y su implementación completa requiere el 50% del precio de los equipos especializados. El prototipo presentado consiste en un solo módulo de muestreo y un módulo de recolección de datos, se recomienda que se implemente dos módulos de muestreo más para conocer el comportamiento del río, antes, en y después del dique.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN)>, <CALIDAD DE AGUA>, <MONITORIZACIÓN>, <OXÍGENO DISUELTO>, <POTENCIAL HIDRÓGENO>, <TEMPERATURA>, <TURBIDEZ>.

SUMMARY

The objective of the present research work was to design a prototype of wireless sensor networks to monitor water quality for recreational use in the Fatima Dam. The prototype RMF consists in a wireless network which includes sample modules, and a data collection module to perform an on-site monitoring of water quality. For on-site monitoring evaluates dissolved oxygen, temperature, pH and turbidity using sensors placed in the sample module. The sample module sends the data obtained by wireless communication to the data collection module, where stores in a flash memory and a Google Drive account. The stored data can be analyzed in the end user application, created with the software Labview 2016. On the other hand, it verified that the dissolved oxygen sensor has an absolute error of $\pm 0.05\text{mg/l}$, the sensor of pH ± 0.08 , the temperature and turbidity sensors have a minimum error. In addition, the repeatability test showed that the data obtained from all sensors tend to be homogeneous. The wireless communication tests showed that the communication is successful to 160 meters; being enough to cover with the distances required in the design of the network. It concludes the prototype RMF is efficient because comply with the requirements of the network, besides it obtains reliable data and its complete implementation requires 50% about the price of equipment in stock. The prototype presented consists of a single sample module and a data collection module. Finally, it recommends implementing two more sample modules to know the behavior of the river, before and after the dam.

KEYWORDS: <TECHNOLOGY AND SCIENCES ENGINEERING>, <TELECOMMUNICATIONS>, <WIRELESS SENSOR NETWORKS (WSN)>, <WATER QUALITY>, <MONITORING>, <DISSOLVED OXYGEN>, <POTENTIAL OF HYDROGEN >, <TEMPERATURE>, <TURBIDITY>.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más importantes y esenciales para los seres humanos. Las personas necesitan este recurso para uso personal y para realizar actividades como la agricultura, ganadería, piscicultura, industria, turismo, recreación, entre otras. Pero estos mismos usos del agua provocan problemas de contaminación que degradan la calidad de este recurso hídrico. Las personas que están en contacto con el agua contaminada presentan principalmente problemas en su salud. En el área recreacional, la contaminación del agua puede causar alteraciones en la piel y afecciones en el estómago en caso de ser ingerida accidentalmente. Pero, para evitar estos problemas, existen instituciones gubernamentales y autoridades encargadas de vigilar que la calidad de agua sea la adecuada.

Los Gobiernos Provinciales son los encargados de monitorizar la calidad de agua en las cuencas hídricas para uso recreativo. Las autoridades implementan programas de monitorización que muchas veces resultan extensos, costosos y tardíos, lo que dificulta realizar una monitorización permanente de las cuencas hídricas. El Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza (GADPPz), mediante la Dirección de Gestión Ambiental (DGA), implementa el Programa de la Microcuenca del Río Puyo, incluyendo los diques que son puntos estratégicos de turismo. El programa consiste en la toma de medidas in situ, y muestras enviadas al laboratorio.

Las redes de sensores inalámbricos WSN (Wireless Sensor Network, por sus siglas en inglés) son una alternativa para monitorizar los parámetros físicos ambientales. Estas redes consiguen integrar varias tecnologías ofreciendo una supervisión en tiempo real, obtención de datos y adaptación a diferentes ambientes. En este contexto, una red WSN puede incluir sensores que miden los parámetros físicos del agua y que pueden adaptarse al ambiente de un río. En el presente trabajo se propone una Red de Sensores Inalámbricos para la monitorización in situ de la calidad de agua para uso recreativo en el Dique Fátima, que es punto de monitorización dentro del Programa de la Microcuenca del Río Puyo de la provincia de Pastaza.

Antecedentes

En la provincia de Pastaza existen procesos productivos, actividades humanas con fines recreativos, de higiene y descarga de aguas servidas que causan contaminación de los recursos hídricos, amenazando la salud de las personas y el equilibrio ambiental. La mala calidad del agua provoca daños sanitarios, ecológicos, económicos y sociales en los sectores afectados. (Dirección de Gestión Ambiental, 2016, pp. 4-6)

El GADPPz preocupado por el estado actual de los recursos hídricos de la provincia, a través de la Dirección de Gestión Ambiental, ejecuta el Programa de la Microcuenca del Río Puyo. Este

programa consta de 35 puntos de monitorización para conocer el comportamiento del río, verificar la calidad de agua dependiendo su uso, y tomar medidas correctivas en caso de contaminación.

El programa de la Microcuenca del Río Puyo es extenso, y necesita de mucho tiempo y movilización de recursos técnicos. Por esta razón, la DGA busca nuevas alternativas eficientes para la monitorización de la calidad del agua en el Río Puyo, especialmente en puntos importantes como los diques, que son zonas de gran afluencia turística.

Las Redes de Sensores Inalámbricos se presentan como alternativa a métodos tradicionales para la vigilancia de parámetros físicos ambientales, que posibilitan la supervisión en tiempo real y permanente de la calidad del agua. En base a los datos obtenidos las autoridades pueden tomar acciones rápidas, para eliminar o mitigar las causas de contaminación.

Justificación Teórica

Las Redes de Sensores Inalámbricos están integradas por varios nodos autónomos distribuidos espacialmente e instaladas para monitorizar parámetros específicos mediante sensores. Además poseen la capacidad de almacenar y transmitir los datos obtenidos mediante comunicaciones inalámbricas.

Existen varios estándares y tecnologías de comunicaciones inalámbricas que pueden ser integradas en las Redes de Sensores Inalámbricos. Cada estándar posee características propias que ofrecen una diversidad de posibilidades para adaptarse a las necesidades del proyecto. Igualmente, existen tecnologías representativas de cada estándar de comunicación inalámbrica fáciles de adquirir en el mercado, y que pueden ser integradas de acuerdo a las condiciones del proyecto.

Los nodos que componen la red de sensores inalámbricos incluyen sensores y tarjetas de desarrollo. Los sensores son los encargados de tomar las medidas de los parámetros físicos del agua y estos están conectados a las tarjetas de desarrollo. Dichas tarjetas pueden procesar, almacenar y transmitir los datos por medio de una interfaz inalámbrica. En el mercado existe variedad de tarjetas de desarrollo que se pueden usar de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

Las WSN pueden adaptarse a condiciones de la ubicación física del proyecto pues, existen distintas topologías de red, que dependiendo de las necesidades se pueden usar. Topologías físicas y lógicas que permiten una cobertura adecuada de toda la zona en donde se desea medir los parámetros físicos del agua.

Todas las particularidades nombradas anteriormente, demuestran la factibilidad para implementar una red de sensores inalámbricos como una herramienta propicia para la monitorización de la calidad del agua en el Dique Fátima. Esta alternativa ofrece una diversidad de opciones en tecnologías, topologías de red, estándares de comunicación inalámbrica y dispositivos para el diseño más conveniente de la red.

Justificación Aplicativa

Uno de los objetivos primordiales del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza es promover el aprovechamiento sostenible y sustentable de los recursos hídricos de la provincia, que son fuente de desarrollo económico para las comunidades. Por esa razón, mediante la Dirección de Gestión Ambiental se ejecuta el programa de la Microcuenca del Río Puyo para monitorizar la calidad de agua en puntos estratégicos, incluidos los balnearios turísticos.

El dique Fátima es uno de los balnearios naturales más importantes de la provincia según el GADPPz ya que recibe alrededor de 49000 turistas al año. Las autoridades preocupadas por la calidad de agua del dique que se ha visto afectada por el aumento de actividades como agricultura, ganadería y descargas de aguas de origen doméstico, incluyeron al dique Fátima como un punto de monitorización del programa de calidad de agua.

Al ser el programa de monitorización amplio no se puede monitorizar puntos de relevancia turística periódicamente, ya que el programa demanda de muchos recursos económicos, técnicos, de personal y tiempo. La DGA se ve limitada de monitorizar constantemente el dique Fátima, pues no posee un sistema permanente que cumpla con esta labor, por ende las acciones son tardías en caso de contaminación y las personas que visitan el balneario se verían afectadas. La DGA busca nuevas opciones de monitorización eficientes y es así que este proyecto se presenta como una alternativa para una monitorización in situ en el dique Fátima. Esta red de sensores inalámbricos funcionará de forma independiente y permanente para obtener los datos de los parámetros físicos del agua en el dique para su posterior análisis.

El proyecto ayudará a la DGA, pues es un aporte para el programa de la Microcuenca del Río Puyo, que se implementará en el dique Fátima pero queda como referencia para la implementación en otros balnearios de la provincia. La DGA logrará ahorrarse recursos de personal, técnicos y tiempo que pueden ser empleados para otras actividades. Además, las autoridades al obtener los datos constantemente pueden tomar acciones rápidas en caso de presentarse contaminación y así asegurar que la calidad de agua sea la adecuada para los habitantes de la zona y los turistas que visitan el dique Fátima.

Para desarrollar el presente proyecto, las actividades se centran en los siguientes objetivos:

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un prototipo de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de la calidad de agua para uso recreativo en el Dique Fátima.

Objetivos Específicos:

- Establecer los parámetros Físico-Químicos que determinan la calidad de agua para fines recreativos y definir los que se consideraran en el proyecto.
- Determinar los requerimientos de la red y los nodos que se adapten a las necesidades del proyecto.
- Definir que topología de red y tecnología inalámbrica que permita la comunicación entre los nodos.
- Seleccionar los sensores y las tarjetas de desarrollo más adecuadas para diseñar los nodos de la red
- Desarrollar el software que permita la supervisión en tiempo real y maneje una base de datos histórica de las mediciones obtenidas como elemento de ayuda para la Dirección de Gestión Ambiental
- Comprobar el funcionamiento del proyecto y comparar los valores obtenidos con los sensores con las medidas de campo tradicional.

En este documento se desarrolla todas las actividades realizadas para cumplir con el proyecto y consta de tres capítulos. El primer capítulo se trata del marco teórico en el que se fundamenta el proyecto. El segundo capítulo consta de la parte metodológica y construcción del proyecto. El tercer capítulo muestra las pruebas y resultados obtenidos con el proyecto.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se analiza las normas de calidad de agua que rigen en el Ecuador. Además se desarrolla los fundamentos teóricos de las redes de sensores inalámbricos, sus características, elementos que lo componen, topologías y los elementos electrónicos que se pueden usar para la implementación de la red inalámbrica.

1.1 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua

Según el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental, el Criterio de la Calidad de Agua es la concentración numérica de los parámetros físicos, químicos y biológicos para un uso benéfico del agua. Los criterios están basados en una modelación de las condiciones críticas, descargas de contaminantes y capacidad de asimilación de un cuerpo de agua. (MAE, 2014, p. 3)

En el Ecuador, existe un documento oficial llamado Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, que fue creado bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento de la Ley de Gestión Ambiental. Este documento es de aplicación obligatoria y rige en todo el país.

Esta norma técnica, en su actualización determina:

- a) Los principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua
- b) Las definiciones de términos importantes y competencias de los diferentes actores establecidas en la ley
- c) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos
- d) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado
- e) Permisos de descarga
- f) Los parámetros de monitoreo de las descargas a cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado de actividades industriales o productivas, de servicios públicas o privadas
- g) Métodos y procedimientos para determinar parámetros físicos, químicos y biológicos con potencial riesgo de contaminación del agua. (MAE, 2014, p. 1)

El objetivo de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua es proteger la calidad de agua para preservar y proteger los usos asignados, de las personas, de los ecosistemas y el ambiente. (MAE, 2014, p. 1)

1.1.1 Criterios de Calidad de las aguas para sus distintos usos

- Criterios de calidad para agua destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización
- Criterios de la calidad para la preservación de la vida acuática y silvestres en agua duces y frías o cálidas, y en agua marinas y de estuarios
- Criterios de calidad para aguas de uso agrícola o de riego
- Criterios de calidad para aguas de uso pecuario
- Criterios de calidad para aguas con fines recreativos
- Criterios de calidad para aguas de uso estético. (MAE, 2014, p. 8)

1.1.2 Criterios de calidad para aguas con fines recreativos

Para uso recreativo se incluyen los siguientes usos:

- Contacto primario, como en la natación y el buceo, incluidos baños medicinales
- Contacto secundario como los deportes náuticos y pesca. (MAE, 2014, p. 17)

A continuación se muestra la Tabla 1-1 que contiene los criterios de calidad para las aguas destinadas con fines recreativos que son los parámetros en los que se basa este proyecto.

Tabla 1-1: Criterios de la calidad de agua para aguas para fines recreativos mediante contacto primario

PARÁMETRO	EXPRESIÓN	UNIDAD	CRITERIO CALIDAD	TIPO
Parásitos nematodos intestinales			Ausencia	Químico
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	200	Químico
Coliformes totales	NMP	NMP/100 ml	2000	Químico
Coliformes fenólicos	Fenol	mg/l	0,002	Químico
Grasas y aceites	Partícula Visible		Ausencia	Físico
Material flotante	Visible		Ausencia	Físico
Oxígeno disuelto	OD	% de saturación	>80	Físico-químico
pH	pH		6,5 – 8,3	Físico-químico
Relación nitrógeno – fosforo total			15:1	Químico
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	Químico
Visibilidad al disco Secchi será por lo menos de 2m de profundidad				Físico

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (MAE, 2014, p. 18)

1.2 Redes Inalámbricas

Se compone de dispositivos distribuidos espacialmente que establecen conexión a través de las ondas electromagnéticas para intercambiar información. Las redes inalámbricas nacen por la necesidad de desplegar redes en ambientes físicos en los que, no es posible una conexión cableada entre los dispositivos de la red.

1.2.1 Redes de Sensores Inalámbricos

Se basa en una serie de dispositivos (nodos) autónomos distribuidos en una zona para obtener información de su entorno. Estas redes están formadas por dispositivos denominados nodos sensores, que están distribuidos de manera ad-hoc y toman los datos de un parámetro físico o ambiental y lo envían al nodo central o Gateway, para que posteriormente los datos lleguen a una estación base (Fernández, et al., 2009, p. 18). Estos elementos nombrados que componen una red de sensores inalámbricos se puede observar en la Figura 1-1.

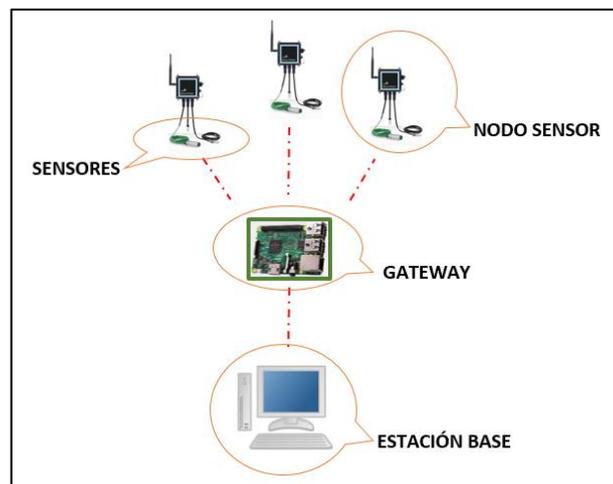


Figura 1-1: Elementos de una red WSN

Fuente: Montero Jéssica. 2017

Las redes de sensores inalámbricos poseen las siguientes características:

- Rápida instalación de la red
- Menor costo de implementación y mantenimiento de la red
- Flexibilidad porque permite agregar más nodos a la red después de la instalación
- Fácil sincronización de los nodos de la red
- Movilidad de los sensores dentro del área de cobertura
- Diseñadas para un nivel bajo de tráfico de datos
- El canal de transmisión puede presentar atenuaciones e interferencias mínimas
- Gasto bajo de energía

A continuación se detallan los elementos que componen una red de sensores inalámbricos:

1.2.1.1 Gateway o nodo central

Conocido también como nodo central, este nodo actúa como conexión entre dos redes de igual o distinto tipo. Se caracteriza por no poseer sensores en su estructura y tiene la capacidad de controlar a los demás sensores de la red. Este nodo es el encargado de recolectar y almacenar la información obtenida por los sensores. Actúa como puerta de salida de los datos hacia la estación base o a su vez puede cumplir con la función de estación base.

1.2.1.2 Estación Base

Se encarga de procesar la información recolectada por los nodos sensores. Generalmente la estación base puede ser un ordenador o computador, en donde se almacena la información en una base de datos y se la presenta mediante un aplicación para un análisis de la información.

1.2.1.3 Nodo sensor

También conocido con el nombre de motas por ser dispositivos electrónicos de tamaño reducido. Los nodos sensores son los elementos de la red encargados de adquirir datos de un parámetro ambiental para luego ser transmitidos al nodo receptor. Un nodo sensor se caracteriza por tener bajo consumo de energía en el proceso para la adquisición de datos. Los elementos que forman un nodo sensor son: sensores, procesador, comunicación inalámbrica y, alimentación como se observa en la Figura 2-1.

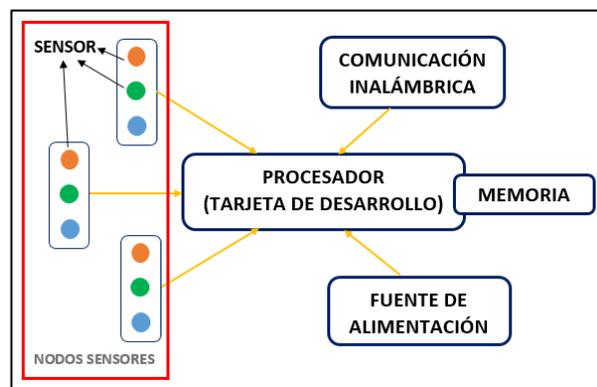


Figura 2-1: Elementos de un nodo sensor

Fuente: Montero Jéssica. 2017

- Sensores

Son dispositivos electrónicos que proporcionan una respuesta cuando detectan un cambio en un parámetro físico o químico del ambiente en el área de monitorización. Los sensores reciben señales analógicas y las transforman a digitales para su procesamiento. Estos elementos se caracterizan por ser pequeños, consumir poca energía, ser autónomos y tener la capacidad de adaptarse al ambiente que los rodea. Las tres categorías principales en los que están agrupados los sensores son las siguientes:

- Sensores pasivos omnidireccionales: captan datos sin manipular el entono, no tienen dirección específica para tomar las medidas y se autoalimentan la energía.
- Sensores pasivos unidireccionales: parecidos a los sensores pasivos pero se diferencian porque tienen una dirección definida para captar la información.
- Sensores activos: son los sensores usados para sondear el ambiente. (Fernández, et al., 2009, p. 22)

La Figura 3-1 se muestra de manera amplia todos los tipos de sensores que existen actualmente.

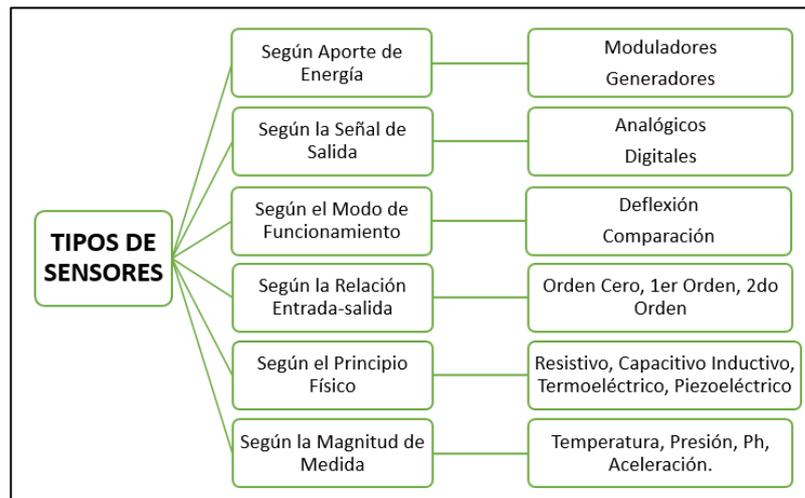


Figura 3-1: Diagrama de tipos de sensores

Fuente: (Franco, 2013).

- Comunicación Inalámbrica

Para la comunicación inalámbrica se integran a los nodos tarjetas o dispositivos que poseen tecnología inalámbrica. Su función principal es interconectar los nodos dentro de un área de cobertura para enviar y recibir información. La comunicación se realiza mediante radiofrecuencias usando principalmente bandas de frecuencias libres denominadas ISM por sus siglas en inglés. (Fernández, et al., 2009, p. 21)

- Procesadores

Son tarjetas de desarrollo programables que gestionan la memoria, controlan los sensores del nodo y las tarjetas de comunicación inalámbrica, y realizan las tareas programadas. Gestionan todas las operaciones que se realizan en el nodo pero su principal función es procesar los datos que se obtienen de los sensores para enviar al nodo central. Los procesadores son el corazón de los nodos de las redes de sensores inalámbricos como se puede observar su uso en la Figura 4-1. Los procesadores más usados son los microcontroladores, microprocesadores y FPGA.

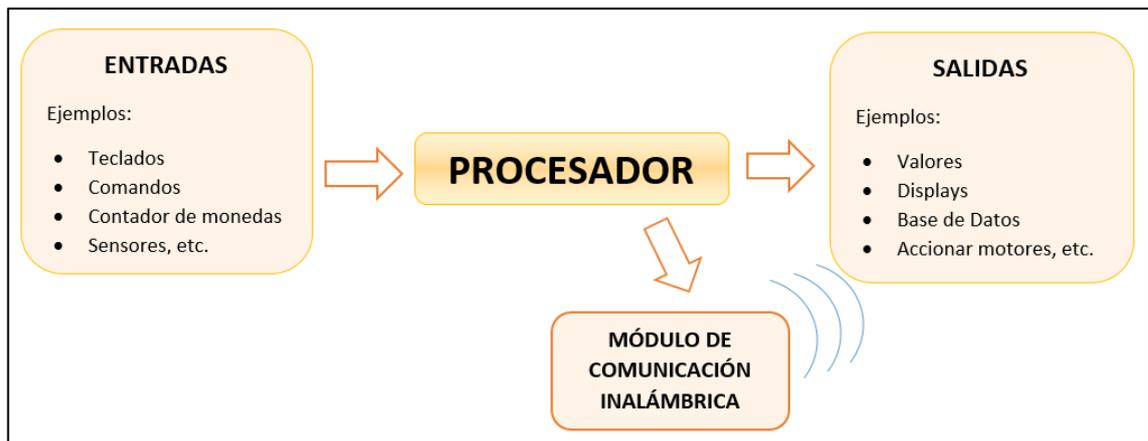


Figura 4-1: Uso de un procesador

Fuente: Montero Jéssica. 2017

Las tarjetas de desarrollo necesitan de una memoria para guardar la programación del nodo y almacenar los datos que se obtienen. Para cumplir con estas funciones existen muchas tecnologías de memoria disponibles. Generalmente las memorias pueden ser de dos tipos: volátiles (ROM) y no volátiles (RAM).

- Fuente de Alimentación

Es una parte muy importante de un nodo, pues de ahí se obtiene la energía necesaria para que todos los elementos del nodo funcionen correctamente (Fernández, et al., 2009, p. 20). Es indispensable realizar una gestión del consumo de energía de los sensores, la comunicación y el procesador para que la fuente de alimentación abastezca energía sin problemas a todos los componentes del nodo.

1.3 Tarjetas de Desarrollo para Redes de Sensores Inalámbricos

Son parte fundamental de una red de sensores inalámbricos pues, controlan todos los elementos que conforman los nodos. Están compuestas básicamente por un procesador, memoria, puerto de alimentación, entradas/salidas analógicas y digitales. Su selección depende del tipo de nodo y sus requerimientos de desarrollo. Para las redes de sensores inalámbricos, las tarjetas de desarrollo más conocidas y usadas son:

1.3.1 *Arduino*

Según su portal oficial (Arduino , 2017) Arduino es una plataforma electrónica de código abierto que se basa en *software* y *hardware* fáciles de usar. Las tarjetas de desarrollo de Arduino son de las más usadas del mundo que se programan en el *software* Arduino IDE basado en Processing y, usan un lenguaje de programación basado en Wiring,

Las principales características que presentan las tarjetas Arduino según su página oficial (Arduino , 2017) son:

- Fácil adquisición, tiene cubierto casi todo el mercado electrónico alrededor del mundo
- Fácil de usar pues posee un entorno de programación sencillo y claro.
- Su *software* está disponible para todos los sistemas operativos.
- Es útil para crear todo tipo de proyectos de aficionados, estudiantes y profesionales
- Es relativamente más barato en comparación con otras tarjetas de desarrollo
- Su código es abierto y extensible, por lo tanto sus usuarios pueden realizar contribuciones personales o para toda la comunidad.
- Los usuarios tienen la posibilidad de armar sus propios circuitos de tarjetas de desarrollo.

Arduino posee una gran gama de tarjetas, módulos y dispositivos. En la Figura 5-1 se muestran modelos de tarjetas de desarrollo Arduino más usadas como: Arduino UNO, Arduino Nano, Arduino UNO Wi-Fi, Arduino Mega, Arduino Ethernet y Arduino Yún.

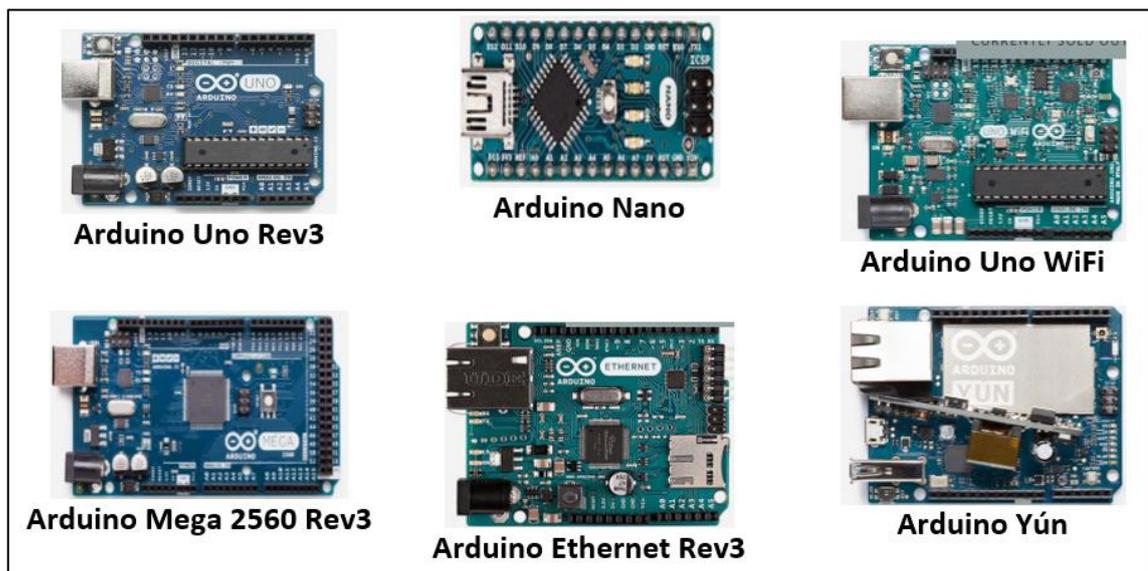


Figura 5-1: Tarjetas de desarrollo de Arduino

Fuente: (Arduino , 2017)

1.3.2 *Waspote de Libelium*

Es una plataforma modular usada en las Redes de Sensores Inalámbricos. Se basa en una arquitectura modular que consiste en integrar al microprocesador módulos fáciles de cambiar según las necesidades del proyecto. Los módulos que se pueden integrar al microcontrolador son: Zigbee, GSM/GPRS, GPS, Sensoriales y de Almacenamiento. (Villalba, 2015, p. 43). En la Figura 6-1 se observa la tarjeta de desarrollo (microprocesador) Waspote con sus principales componentes.

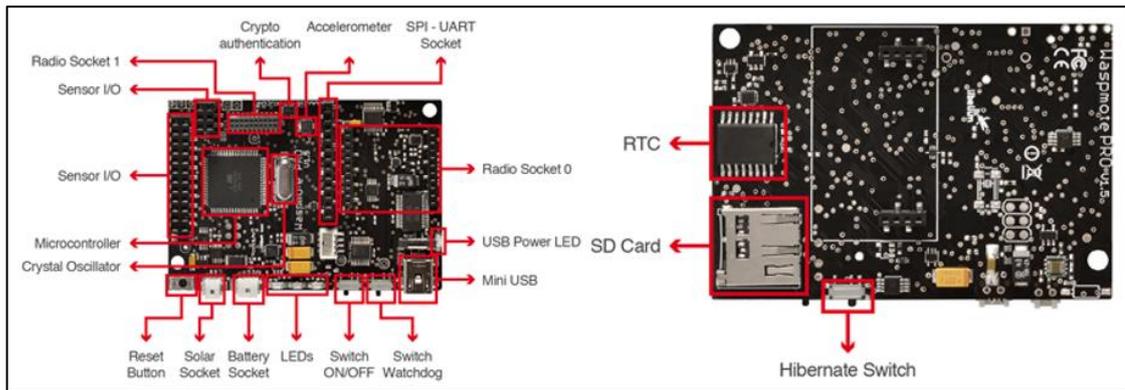


Figura 6-1: Microprocesador Waspmode

Fuente: (Libelium, 2016)

1.3.3 Raspberry Pi

Según la página oficial (Raspberry Pi Foundation, 2017) el Raspberry Pi es una computadora pequeña que tiene una capacidad parecida a una PC común. A la tarjeta se pueden conectar dispositivos externos como pantalla, teclado, mouse, etc. Dependiendo del modelo de Raspberry Pi posee distintas características, módulos y, número de entradas y salidas. Esta tarjeta usa como *software* principal una versión de Debian llamada Raspbian y, otro sistema operativo Noobs para principiantes. Además, las tarjetas soportan todos los sistemas operativos de GNU/Linux y una versión de Windows 10. Algunos modelos de tarjetas que ofrece Raspberry Pi se muestran en la Figura 7-1.

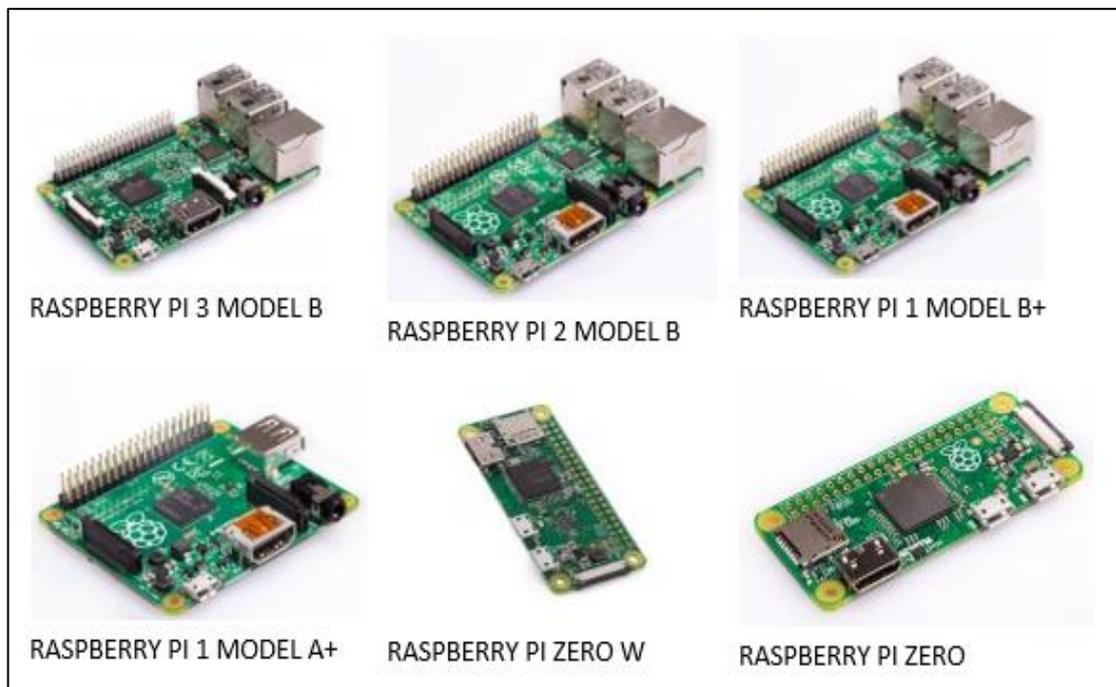


Figura 7-1: Modelos de tarjetas de desarrollo Raspberry Pi

Fuente: (Raspberry Pi Foundation, 2017)

1.4 Comunicación Inalámbrica

Es la comunicación entre dispositivos (emisor-receptor) que transmite información usando ondas de radiofrecuencia a través del espectro electromagnético.

1.4.1 Clasificación de las Redes Inalámbricas

La Tabla 2-1 muestra la clasificación de las redes inalámbricas según su cobertura, en la cual tenemos a las redes WPAN como las de menor alcance y las redes WMAN como las de mayor alcance.

Tabla 2-1: Clasificación de las Redes Inalámbricas según su cobertura

RED INALÁMBRICA		CARACTERÍSTICAS
WPAN Wireless Personal Area Network	Red Inalámbrica de Área Personal	<ul style="list-style-type: none">• Se basa en el estándar IEEE 802.15.4• El rango de cobertura no excede los 100 metros.• Se usa para comunicar dispositivos de uso personal• Tecnologías: Infrarrojo, Bluetooth, Zigbee y RFID
WLAN Wireless Local Area Network	Red Inalámbrica de Área Local	<ul style="list-style-type: none">• Se basa en el estándar IEEE 802.11• El rango de cobertura es hasta una distancia de 20 km• Son redes de ámbito doméstico y empresarial• Su uso más común es el acceso a internet• La tecnología más representativa es Wi-Fi
WMAN Wireless Metropolitan Area Network	Red Inalámbrica de Área Metropolitana	<ul style="list-style-type: none">• Se basa en el estándar IEEE 802.16• También se las conoce como redes Wi-Max• Puede cubrir grandes distancias• Se usa para conectar varios puntos dentro de una ciudad• Tecnologías: WirelessMan y LMDS
WWAN Wireless Wide Area Network	Red Inalámbrica de Área Amplia	<ul style="list-style-type: none">• Usa tecnología móvil• Generalmente su uso es para transferencia de datos y también para acceso a Internet.• Tiene una cobertura regional y nacional• Tecnologías: UMTS, GPRS, HSDPA o 3G, EDGE y GSM

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Torres Andagana & Chávez Suárez, 2015, pp. 55-56)

1.4.2 Estándares de comunicaciones inalámbricas para las WSN

Son reglas que se adoptan para facilitar la producción y comercialización de productos de mejor calidad y menor costo de producción. Estas rigen a nivel mundial para que exista difusión e intercambiabilidad entre tecnologías. (Cabezas & González, 2010, p. 57)

1.4.2.1 Estándar IEEE 802.11

En este estándar rigen las redes inalámbricas de área local (WLAN), normaliza medios de espectro extendido, banda estrecha e infrarrojos. Generalmente operan en las bandas de frecuencias ISM 2,4 GHz y 5 GHz, que no necesitan licencia. La tecnología más conocida de este estándar es Wi-Fi. (Huidobro Maya, 2011, pp. 192,307). Gracias a que actualmente este estándar está presente en la mayoría de dispositivos electrónicos, presenta un mayor desarrollo en comparación con otros estándares. Las investigaciones han dado lugar a que existan variantes del estándar 802.11 como se muestra en la Tabla 3-1 con sus principales características.

Tabla 3-1: Variantes del estándar IEEE 802.11

	802.11	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac	802.11ad
Frecuencia (GHz)	2,4	2,4	5	2,4	2,4/5	5	60
Ancho de Banda (MHz)	25	25	20	25	20 - 40	20-40-80-160	2160
Esquema de Transmisión	DSSS	DSSS/CCK	OFDM	OFDM DSSS/CCK	OFDM/SDM	OFDM/SDM/MU-MIMO	OFDM
Modulación			64QAM	64QAM	64QAM	256QAM	256QAM
Velocidad de Datos (Mbps)	1,2	1-11	6-54	1-54	6,5-600	6,5 - 6933,3	> 6912

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Perahia & Stacey, 2013) citados en (Wilson, et al., 2016, p. 565)

1.4.2.2 Estándar IEEE 802.15

Basado en la tecnología Bluetooth, este estándar es desarrollado para cubrir Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN). Se usa para dispositivos pequeños como periféricos, teléfonos móviles y electrónica de bajo consumo. Entre las tecnologías más conocidas están el Bluetooth y Zigbee (Huidobro Maya, 2011, p. 192). Las tecnologías basadas en este estándar usan las bandas de frecuencia ISM, que son de uso libre en todo el mundo. Bluetooth es una de las tecnologías más comercializadas en el mundo que está presente en todos los dispositivos móviles, computadores, electrodomésticos, etc. Dentro de la familia IEEE 802.15, los estándares más conocidos, con algunas de sus principales características se muestran en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1: Variantes del estándar IEEE 802.15

	CLASE	DISTANCIA	TASA DE TRANSMISIÓN	DETALLES
802.15.1	1	100 m	1Mbps	Usa topología Piconet, formando las redes Scatternet
	2	10 m	3 Mbps	
	3	1 m	53-480Mbps	
802.15.3	802.15.3a	2 m	480Mbps	Redes WPAN de alta velocidad.
		10 m	110Mbps	
802.15.4	802.15.4a	(75-100) m	250Kbps	Soporta conexiones de 20-40-50 kb

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Gómez, 2011, p. 170)

Uno de los estándares que actualmente presenta mayor auge es el IEEE 802.15.4, y en la Figura 8-1 se presenta un diagrama de su evolución desde el año 2003 hasta el año 2013.

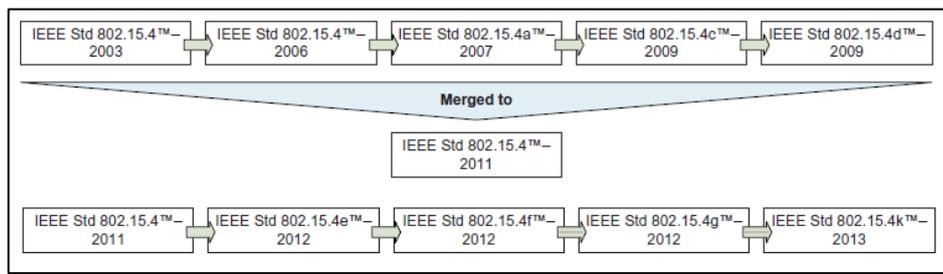


Figura 8-1: Diagrama de Evolución del Estándar IEEE 802.15.4

Fuente: (Hämäläinen & Iinatti, 2014, p. 6)

1.4.3 Estándares más usados para las Redes de Sensores Inalámbricos

Los estándares de cobertura personal y local son los más usados para las redes de sensores inalámbricos, y a continuación se describen tres de los más usados.

1.4.3.1 Wi-Fi

Es el acrónimo de Wireless Fidelity estandarizado por Wi-Fi Alliance y normalizada para las Redes Locales Inalámbricas en el estándar IEEE 802.11. Se compone de un punto de acceso que crea un área de cobertura para que cualquier dispositivo que use tecnología Wi-Fi pueda conectarse a la red. Opera en bandas de frecuencia de 2,4GHz y 5GHz que son de uso libre en casi todo el mundo (Cabezas & González, 2010, pp. 46-47). Utiliza técnicas de modulación de espectro extendido (FHSS y DSSS) para evitar interferencias y expandir la señal en un rango de frecuencias. (Black, 2010, pp. 153-154). Los canales de frecuencia que usa Wi-Fi están normalizados como se ve en la Tabla 5-1 y Tabla 6-1 pero, dependiendo de la región del mundo se usan desde 14 a 4 canales de frecuencia. (Cabezas & González, 2010, pp. 51-53)

Tabla 5-1: Canales y frecuencias distribuidas para la banda 2.4GHz

CANAL	FRECUENCIA GHz
1	2,412
2	2,417
3	2,422
4	2,427
5	2,432
6	2,437
7	2,442
8	2,447
9	2,452
10	2,457
11	2,462
12	2,467
13	2,472
14	2,484

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Cabezas & González, 2010, p. 54)

Tabla 6-1: Canales y frecuencias distribuidas para la banda 5GHz

CANAL	FRECUENCIA (GHz)
36	5180
38	5190
40	5200
44	5220
48	5240
52	5260
56	5280
60	5300
64	5320
100	5500
104	5520
108	5540
112	5560
116	5580
120	5600
124	5620
128	5640
132	5660
136	5680
140	5700

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Cabezas & González, 2010, pp. 54-55)

1.4.3.2 Bluetooth

Tecnología creada por la empresa Ericsson para conectar dispositivos personales en las denominadas redes inalámbricas de Área Personal. Trabaja en la banda de frecuencia de 2.4GHz y con baja potencia. Cuando se estandarizó Bluetooth, IEEE aportó creando 40 perfiles para emplear esta tecnología en diferentes aplicaciones. (Toulson & Wilmshurst, 2016, p. 263).

Tecnología que se basa en un emisor/receptor de radiofrecuencia, una banda base y una pila de protocolos. Los dispositivos para evitar interferencias usan saltos de frecuencia en su banda de trabajo (Cabezas & González, 2010, pp. 47-48). El proceso de conexión se muestra en la Figura 9-1 que consiste en tres etapas: Descubrir dispositivos cercanos, Emparejar dichos dispositivos mediante un control de acceso a medios (MAC) para finalmente establecer la Conexión. Este proceso de conexión se realiza con dos protocolos con los que trabajan siempre en los nodos de una red con dispositivos Bluetooth LMP y SDP. (Black, 2010, pp. 155-157)

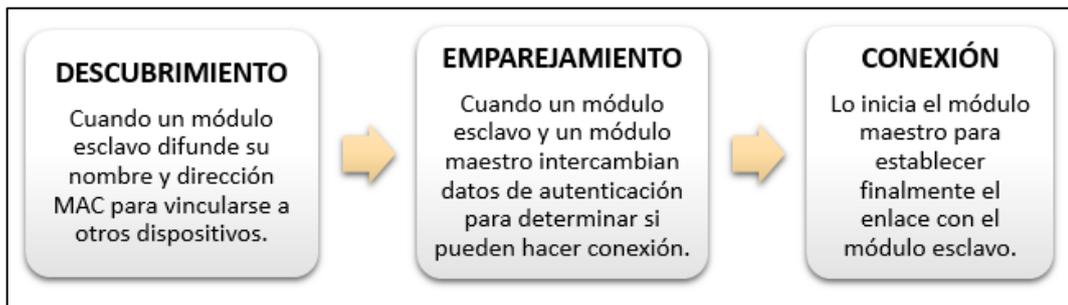


Figura 9-1: Diagrama de fases de conexión de dispositivos Bluetooth

Fuente: (Toulson & Wilmshurst, 2016, p. 263)

Existen tres clases de tecnología Bluetooth, las cuales varían su alcance de entre 1m a 100m y su potencia entre un mínimo de 1mW a un máximo de 100mW como se observa en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1: Alcance y potencia de las clases de Bluetooth

CLASE	ALCANCE	POTENCIA
Clase 1	100m	100mW
Clase 2	10m	2,5mW
Clase 3	1m	1mW

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Toulson & Wilmshurst, 2016, p. 263)

1.4.3.3 Zigbee

Tecnología administrada por Zigbee Alliance destinada para sistemas de baja potencia y baja velocidad de datos y, basada en el estándar IEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal. Opera en las bandas ISM de 2.4GHz pero también trabaja en bandas de 915MHz y 868MHz. Zigbee usa espectro expandido para evitar interferencias. Existen tres tipos de dispositivos que

pueden integrar una red Zigbee: coordinador, enrutador y dispositivo final, como se ve en la Figura 10-1. El dispositivo final posee la capacidad para realizar acciones de medición y enviar datos. El enrutador puede recibir/transmitir datos, almacenar información y permite que otros dispositivos se unan a la red. (Toulson & Wilmshurst, 2016, pp. 274-275)

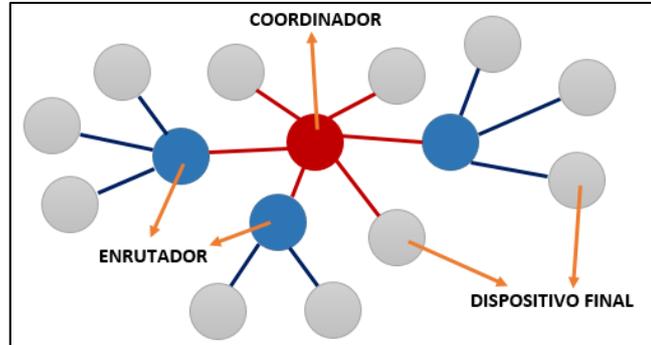


Figura 10-1: Tipos de Dispositivos en una Red Zigbee

Fuente: Montero Jéssica. 2017

Una de las características de Zigbee es que posee distintas capacidades de 250kbps, 4kbps y, 20kbps, lo que posibilita tener un rango o alcance entre 10m y 100m. Los chips Zigbee son de los de más bajo costo en el mercado y ahora cuentan con tres niveles de seguridad. (Cabezas & González, 2010, pp. 295-296)

1.4.4 Topologías de Redes de Sensores Inalámbricos

El termino topología se refiere al diseño físico o lógico de una red, como los dispositivos están conectados entre sí dentro de un red. Las topologías que se emplean en las WSN son:

1.4.4.1 Topología Estrella

En una Topología de red Estrella como la que se muestra en la Figura 11-1, todos los nodos sensores están conectados directamente al Gateway o puerta de enlace. Los nodos transmiten los datos obtenidos al Gateway. Posteriormente, la puerta de enlace transmite los datos al exterior o a otra red. (Fernández, et al., 2009, p. 24)

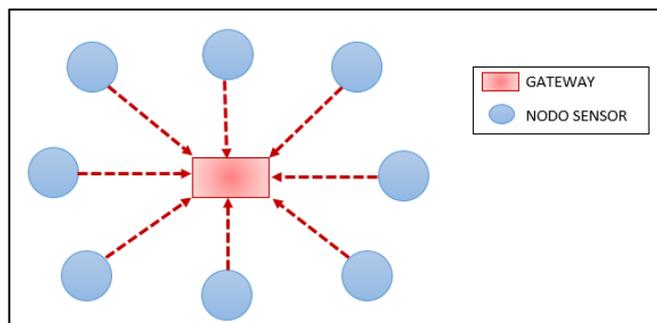


Figura 11-1: Topología de red Estrella

Fuente: Montero Jéssica. 2017

La mayor ventaja de esta topología de red es que consume poca energía. Las desventajas de esta topología son: no existe comunicación entre los nodos por lo que carece de redundancia y, la distancia de la red está limitada por el alcance de la tecnología inalámbrica del nodo. (Fernández, et al., 2009, p. 24)

1.4.4.2 Topología Malla

Topología de red malla como la que se observa en la Figura 12-1, los nodos pueden conectarse al Gateway o con otro nodo. Cada nodo debe ser capaz de recibir y enviar información hacia otro nodo. Por su forma de conexión esta topología hace posible tener una red más extensa y tolerable a errores. Si un camino falla el nodo buscara una alternativa para enviar los datos hacia el Gateway. La principal desventaja es que la recolección de datos puede presentar retardo dependiendo de la distancia y saltos que tenga que recorrer los datos antes de llegar a su destino. (Fernández, et al., 2009, p. 25)

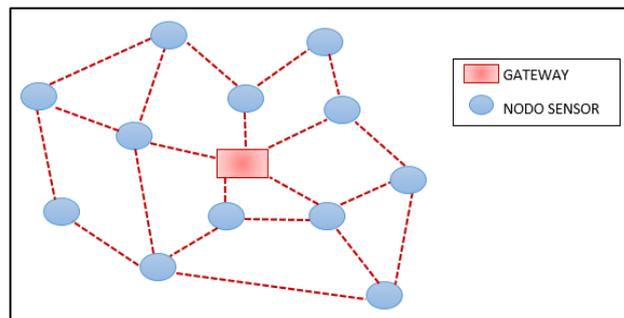


Figura 12-1: Topología de red Malla

Fuente: Montero Jéssica. 2017

1.4.4.3 Topología Híbrida Estrella – Malla

La topología híbrida como se observa en la Figura 13-1 combina las características y ventajas de las topologías de estrella y malla. Para esta topología es necesario agregar enrutadores que servirán de intermediarios entre el Gateway y los nodos. Esta topología es ideal pues tiene bajo consumo de energía, redundancia y puede ser muy extensa. (Fernández, et al., 2009, p. 25)

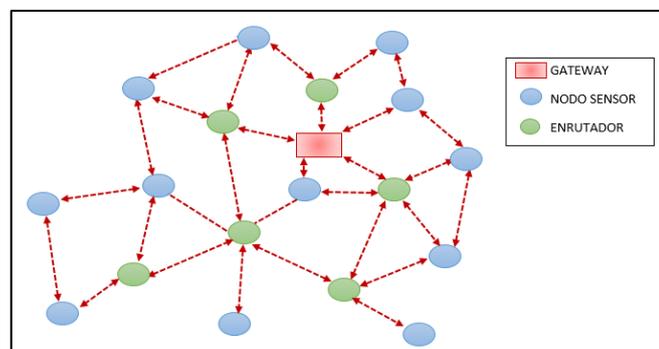


Figura 13-1: Topología de red Híbrida Estrella-Malla

Fuente: Montero Jéssica. 2017

1.5 Consideraciones sobre la Implementación de una Red Inalámbrica

Los dos pasos fundamentales que se deben seguir son los siguientes:

- a) Planificar el diseño de red: se considera el tamaño, expansión y seguridad de la red. Además las características de los estándares de comunicación como el ancho de banda, velocidad, número de nodos, costo, alcance y cobertura. (Black, 2010, pp. 158-160)
- b) Adquirir el *hardware* de la red: la adquisición de los dispositivos que integraran la red se deben elegir basados en los requerimientos del diseño.

1.5.1 Seguridad de las Redes Inalámbricas

La primera consideración que hay que tener en cuenta es el grado de importancia de la información que será transmitida de forma inalámbrica. La segunda consideración es analizar la ubicación de la red, para detectar si la red puede ser víctima de un ataque. Si la información es de mucha relevancia es necesario considerar que existe vulnerabilidad ante posibles ataques, por lo que será necesario implementar sistemas de seguridad en la red. (Black, 2010, p. 158)

1.6 Almacenamiento de Datos

Consiste en una forma de guardar datos o información recolectada de un mismo origen. Este almacenamiento debe estar siempre actualizadas y a disposición, pues la información almacenada se usa para realizar análisis histórico. En las redes de sensores inalámbricos el almacenamiento de los datos depende de los requerimientos de la red.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo contiene el diseño del prototipo de la red de sensores inalámbricos para la monitorización in situ de la calidad de agua en el Dique Fátima (RMF). La selección de los elementos que componen el *hardware* mediante la técnica de Matriz de Selección. También se incluye las conexiones de los nodos con su respectivo diagrama de flujo para su programación.

2.1. Ubicación del Proyecto

En la Tabla 1-2 se encuentra detallada la ubicación del proyecto en el Dique Fátima y en la Figura 1-2 se presenta una imagen del dique con los puntos de muestreo seleccionados por la Dirección de Gestión Ambiental del GADPPz.

Tabla 1-2: Ubicación del proyecto RMF - Dique Fátima

Provincia	Pastaza
Cantón	Pastaza
Parroquia	Fátima
Coordenadas	1°25'43'' S, 78°00'20'' O
Dique	Fátima, formado por el río Puyo
Referencia	A 10 min de la parroquia Puyo, vía a Tena.
Administración	GAD de la parroquia Fátima
Control de calidad de agua	GADPPz – DGA (Punto de monitorización No. 2)

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

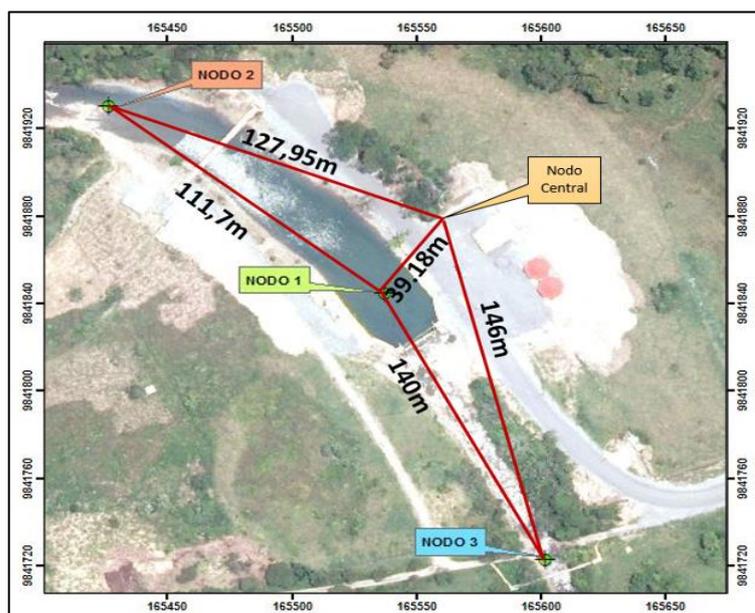


Figura 1-2: Ubicación del Dique Fátima con sus puntos de muestreo

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.2. Requerimientos del Proyecto RMF

El objetivo general del proyecto es diseñar un prototipo de una red de sensores inalámbricos para monitorizar la calidad de agua para uso recreativo en el Dique Fátima. Partiendo del objetivo general y de los requerimientos de la Dirección de Gestión Ambiental del GADPPz. La red debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- La red debe estar diseñada para monitorizar la calidad de agua en el Dique Fátima.
- Los puntos de muestreo (nodos) son determinados por la DGA.
- Los nodos sensores deben estar integrados por sensores que midan los parámetros Físico-Químicos necesarios para una monitorización in situ de la calidad de agua para uso recreativo.
- Los nodos sensores deben tener autonomía de energía, debe hacerse con materiales ligeros e impermeables adaptables a los niveles del agua del río.
- Los sensores deben estar calibrados de acuerdo a los valores de Criterios de calidad de aguas para aguas para fines recreativos mediante contacto primerio presentes en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.
- Los datos obtenidos deben ser almacenados para un posterior análisis.
- El proyecto implementado para el Dique Fátima debe ser eficiente, sustentable, sostenible y larga duración.

2.3. Diseño del prototipo de la red de Sensores Inalámbricos del proyecto RMF

De acuerdo de los requerimientos de la red, tres serán los puntos de monitorización: el Nodo 1 estará en el centro del dique, Nodo 2 estará antes del dique y el Nodo 3 estará después del dique. Estos puntos de muestreo son seleccionados por la Dirección de Gestión Ambiental para verificar el comportamiento del río Puyo en el sector. La ubicación de los nodos con las distancias que los separan se pueden observar en la Figura 1-2.

La red inalámbrica está integrada por módulos de muestreo y un módulo de recolección de datos como se muestra en el diagrama del diseño del prototipo RMF en la Figura 2-2. Siendo los módulos de muestro los nodos sensores distribuidos en topología malla, y el módulo de recolección de datos integra el nodo central que se conecta mediante Wi-Fi a internet. El almacenamiento se realiza en el nodo central y mediante internet se almacena la información en una cuenta de almacenamiento en la nube a donde puede acceder la DGA.

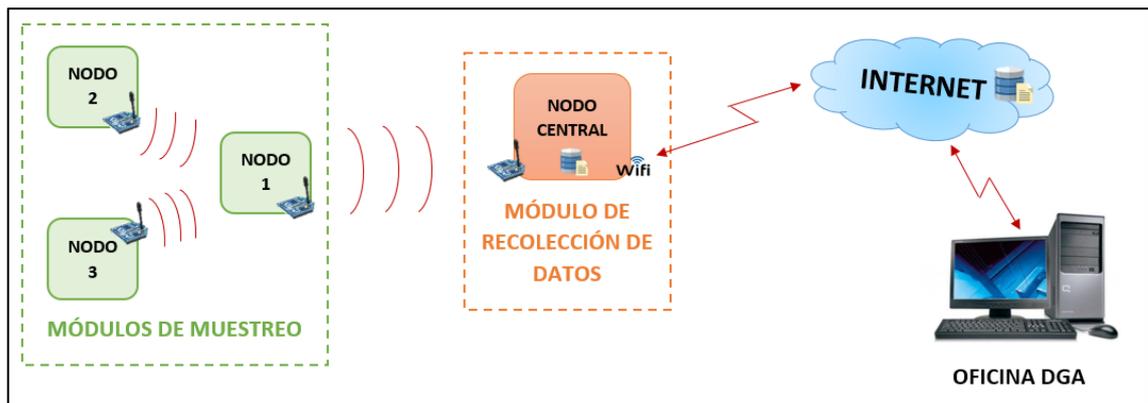


Figura 2-2: Diagrama de módulos del diseño del prototipo de RMF

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.3.1. Módulo de Muestreo de los Nodos

El módulo de muestreo mostrado en la Figura 3-2 está compuesto por cuatro módulos, cada uno corresponde a los sensores para medir los parámetros físico-químicos in situ para determinar la calidad de agua. Además, cuenta con un módulo de alimentación para todo el sistema. Finalmente, posee un módulo de transmisión de datos que usa comunicaciones inalámbricas para enviar la información recolectada hacia el módulo de recolección de datos.

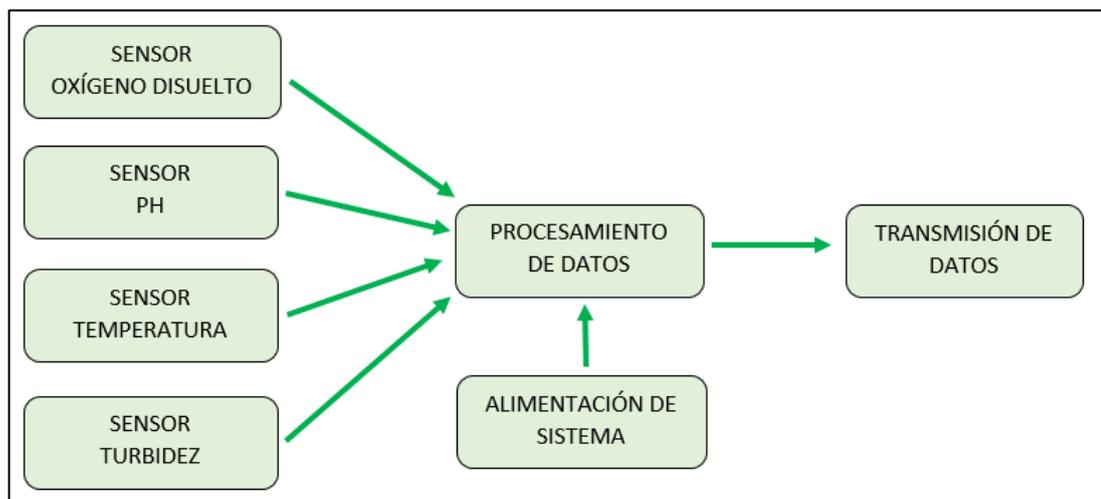


Figura 3-2: Diagrama de bloques del módulo de muestreo

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.3.2. Módulo de recolección de datos – Nodo central

El módulo de recolección de datos mostrado en la Figura 4-2 está compuesto por un módulo de recepción de datos que usa comunicaciones inalámbricas para recolectar toda la información enviada desde el módulo de muestreo. Cuenta con un sistema de almacenamiento para guardar los datos para su posterior análisis. También posee un módulo de visualización para ver en tiempo real los datos que se están recibiendo desde el módulo de muestreo. Finalmente posee su propio sistema de alimentación para todo el módulo.

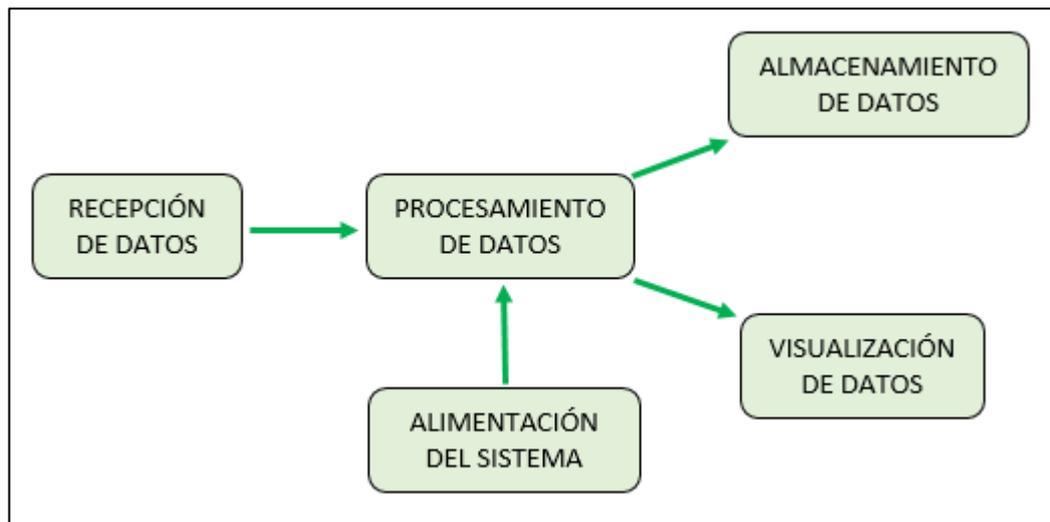


Figura 4-2: Diagrama de bloques del módulo de recepción de datos

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.4. Parámetros Físico-Químicos para el proyecto RMF

Siendo que el dique Fátima es un balneario natural formado por el río Puyo que recorre toda la provincia, su agua esta categorizada como dulce y superficial. Por lo tanto los parámetros para medir la calidad de agua del Dique recae en los criterios de calidad de agua para aguas con fines recreativos mediante contacto primario de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Dentro de los criterios de la calidad de agua para uso recreativo existen parámetros que se miden en el lugar, y parámetros que para ser medidos se toma muestras para enviarlas a un laboratorio. El proyecto contempla aquellos parámetros que se pueden medir en el lugar y son:

2.4.1. Oxígeno Disuelto

Según (MAE, 2014), es un parámetro de calidad de agua para uso recreativo que debe tener un valor $>80\%$ de porcentaje de Saturación. Al oxígeno disuelto se lo define como la cantidad de oxígeno presente en el agua, es considerado como un indicador de contaminación del agua ya que, mientras menor sea su valor el agua presenta mayor contaminación. Existen tres formas de medir el oxígeno disuelto: mg/l (miligramos por litro de agua), p.p.m. (partes por millón) y, % (porcentaje de saturación).

Los factores que afectan a la capacidad del agua para disolver oxígeno y que contribuyen a los cambios en el nivel de oxígeno disuelto son: temperatura, aumento de residuos orgánicos, salinidad del agua y la presión. En las aguas contaminadas los valores de saturación del Oxigeno son menores y que dan indicio de la existencia de Coliformes fecales y Totales. (Torres Andagana & Chávez Suárez, 2015, pp. 34-35)

Para transformar el oxígeno disuelto medido en mg/l a % porcentaje de saturación se usa la Ecuación 1-2 y además se debe considerar aspectos como: la temperatura, altura de la zona y la presión. La altura de la zona en promedio es 940 metros (3083,99 pies), según la tabla Presión Biométrica Aproximada a Diferentes Elevaciones del Anexo D la presión es aproximadamente es 683mmHg. (Vernier Software & Technology Caliper Logo, 2017).

$$\%OD = \frac{100 \% * OD_{medido}(mg/l)}{OD_{100\%} (mg/l)} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Donde:

- $OD_{medido}(mg/l)$, es el valor que se obtiene de las mediciones con el sensor en tiempo real.
- $OD_{100\%}(mg/l)$, es el valor obtenido de la tabla 100% Capacidad de Oxígeno Disuelto (mg/l) del Anexo D.

2.4.2. *Potencial Hidrogeno*

Según (MAE, 2014), es un parámetro de calidad de agua para uso recreativo que debe tener un valor de 6,5 a 8,3 unidades de pH. Conocido como pH es una medida de acidez dada por la cantidad de protones o iones de hidrógeno, su valor varía de 0 a 14 siendo 7 un pH neutro. El agua con valores de pH bajo 7 indica mayor presencia del ion hidrogenión y menor del ion hidroxilo, por lo tanto el agua es ácida. Si el agua tiene mayor concentración del ion hidroxilo que el ion hidrogenión el agua es básica, como el agua natural que presenta valores de pH entre 4 y 9 (Londoño Carvajal, et al., 2010, p. 57).

La medida del pH solo se ve afectada por la temperatura. Si se determina el valor de pH por medio de un electrodo este no sufre interferencias por el color, turbidez o materia oxidante. El potencial hidrógeno se mide en unidades de pH. (Londoño Carvajal, et al., 2010, p. 58).

2.4.3. *Temperatura*

La medición de la temperatura se debe realizar en el sitio y el resultado generalmente se expresa en grados Celsius (°C), aunque su unidad internacional es el grado Kelvin (°K). Si existe una temperatura mayor de la normal indica actividad biológica, química y física. Es un indicador de la presencia de contaminantes en el agua (Londoño Carvajal, et al., 2010, p. 52). Puede afectar a la cantidad de oxígeno presente en el agua, a más temperatura menor será su presencia. La variación de temperatura también afecta al valor de pH del agua.

Aunque no está dentro de los criterios de calidad de agua para uso recreativo, es necesaria la temperatura para el cálculo del % porcentaje de Saturación de oxígeno, pero también ayuda a tener un mejor análisis del estado de agua.

2.4.4. Turbidez

Es una característica física del agua y se define como una propiedad óptica que produce que la luz no se transmita en línea recta por el agua. La presencia de material suspendido como arcilla, materia orgánica e inorgánica dividida puede causar que la luz sea dispersada o absorbida. (Londoño Carvajal, et al., 2010, p. 43). Aunque en la mayoría de casos la Turbidez no causa daño a la salud si es un problema de percepción visual que para aguas de uso recreativo genera mucho impacto en las personas. Al ver agua con un grado elevado de turbidez la mayoría de personas asocian el aspecto con contaminación.

El método que plantea (MAE, 2014) es Visibilidad al disco Secchi será por lo menos de 2 m de profundidad, donde se define si tiene o no una turbidez alta. El problema en el dique es que el agua generalmente no sobre pasa el 1,5 m por lo que, la DGA usa métodos de medición en unidades UNT.

2.5. Metodología para la selección de los elementos para el proyecto RMF

Para seleccionar de las opciones más adecuadas de topología de red, tecnología inalámbrica y todos los componentes de los módulos se usó la técnica de Matriz de Selección. Esta técnica se usa para tomar una decisión entre varias alternativas relacionando el grado de importancia de las características y su evaluación cualitativa/cuantitativa. Con esta técnica la opción más adecuada será la que consiga la mayor calificación total.

Para realizar la técnica de Matriz de Selección es necesario definir las alternativas con sus respectivas características y su grado de importancia. Además, se usa la Tabla 2-2 de una escala cualitativa transformada a escala cuantitativa para la evaluación de las características según los requerimientos del proyecto. El grado de importancia usa un sistema binario, 1 si es más importante o igual de importante, y 0 si tiene menor importancia.

Para todas las matrices de selección se usó la misma escala cualitativa y forma de asignación del grado de importancia de las características. Además, en algunos casos para simplificar las tablas de análisis, los elementos detallados están representados por símbolos definidos en las tablas de características.

Tabla 2-2: Escala de evaluación para las características

4	3	2	1	0
Muy adecuado	Adecuado	Poco Adecuado	Inadecuado	Nada Adecuado

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

2.6. Selección del *Hardware* del proyecto RMF

2.6.1. Selección de la Topología de Red

Las opciones de topología para el diseño de las redes de sensores inalámbricos son: Estrella, Malla e Híbrida Estrella-Malla. Para elegir la topología de red se evaluaron las características definidas en la Tabla 3-2, que son: el alcance, redundancia, consumo de energía y elementos de red.

Tabla 3-2: Características de tres tipos de topologías de red

Características	Estrella	Malla	Híbrida Estrella - Malla
Alcance	Corta	Extensa	Muy Extensa
Redundancia	No	Si	Si
Consumo de Energía	Bajo	Alto	Bajo
Elementos de Red	Dos	Dos	Tres

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Fernández, et al., 2009, pp. 24-25)

Para elaborar la Tabla 4-2 del grado de importancia de las características, donde el alcance obtuvo el peso mayor de 0,43, se tuvo las siguientes consideraciones:

- El alcance es la característica más importante.
- El consumo de energía y los elementos de red son de igual importancia.
- La redundancia tiene mayor importancia que el consumo de energía y los elementos de red.

Tabla 4-2: Grado de importancia de las características de las topologías de red

Características	Alcance	Redundancia	C. de energía	Elementos	Total	Peso
Alcance	-	1	1	1	3	0,43
Redundancia	0	-	1	1	2	0,29
C. de energía	0	0	-	1	1	0,14
Elementos	0	0	1	-	1	0,14

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

En la Tabla 5-2 consta la calificación cuantitativa de las características de cada topología, donde el alcance y la redundancia obtuvieron una mayor calificación en la topología malla pero en contraste con la mínima calificación que obtuvieron en la topología estrella.

Tabla 5-2: Calificación cuantitativa de las características de las topologías de red

Caract.	Alcance		Redundancia		C. de Energía		Elementos de red	
	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.
Estrella	1	0,125	0	0	4	0,4	4	0,4
Malla	4	0,5	4	0,5	2	0,2	4	0,4
Híbrida	3	0,375	4	0,5	4	0,4	2	0,2

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

En la Tabla 6-2 se relacionan los pesos de importancia con la calificación cuantitativa de cada una de las características de las topologías de red, donde la topología estrella recibió la menor calificación y la topología malla la mayor calificación.

Tabla 6-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de las topologías de red

Topología Caract.	Peso	Estrella		Malla		Híbrida	
		Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
Alcance	0,43	0,125	0,054	0,5	0,215	0,375	0,161
Redundancia	0,29	0	0	0,5	0,145	0,5	0,145
C. de Energía	0,14	0,4	0,056	0,2	0,028	0,4	0,056
Elementos	0,14	0,4	0,056	0,4	0,056	0,2	0,028
CALIFICACIÓN TOTAL			0,166		0,444		0,39

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

INTERPRETACIÓN: La opción más adecuada basada en las calificaciones totales de la Tabla 6-2, es la Topología Malla pues obtuvo una calificación de 0,444 que es mayor que las otras opciones.

2.6.2. Selección de la Tecnología Inalámbrica

Las tres tecnologías de red que más se usan en las redes de sensores inalámbricos son: Wi-Fi, Bluetooth y Zigbee. Las características que se evaluaron para la selección de la tecnología inalámbrica están definidas en la Tabla 7-2, y son: frecuencia, ancho de banda, velocidad de transmisión, alcance, topología de red, número de nodos, capacidad de expansión, complejidad, seguridad, y tipos de datos.

Tabla 7-2: Características de las tecnologías inalámbricas

Símbolo	Características	Wi-Fi (802.11n) (W)	Bluetooth (B)	Zigbee (Z)
C1	Frecuencia	2,4 GHz / 5GHz	2,4GHz	2,4
C2	Ancho de Banda	20MHz / 40MHz	5MHz	5
C3	Velocidad de transmisión	600Mbps	1-3Mbps	20-250
C4	Alcance	120m - 300m	1-100m	120-1500
C5	Topología de Red	Ad-hoc, estrella, malla, infraestructura	Pico-net, malla	Punto a Punto, malla, estrella, híbrida
C6	Número de nodos por master	32	7	65000
C7	Cap. de expansión	Roaming	No	Si
C8	Complejidad	Complejo	Alta complejidad	Sencilla
C9	Seguridad	Alta	Normal	Normal
C10	Tipos de Datos	Voz, video, datos	Audio, gráficos, ficheros.	Datos

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Toulson & Wilmsurst, 2016, pp. 274-275); (Black, 2010, pp. 155-157); (Perahia & Stacey, 2013) citado en (Wilson, et al., 2016, p. 565)

Para elaborar la Tabla 8-2 de los grados de importancia de las características, donde las características de mayor importancia obtuvieron un peso de 0,018 y las de menor importancia 0,02, se consideró:

- El alcance y la topología de red son características de igual importancia y mayor importancia que el resto de características.
- La velocidad de transmisión y el número de nodos tienen el mismo grado de importancia, pero son más importantes que la seguridad y el ancho de banda.
- La seguridad y el ancho de banda tienen igual importancia, pero son mayor importancia que la expansión y el tipo de datos.
- La capacidad de expansión y el tipo de datos tienen igual importancia y son los penúltimos en grados de importancia
- La frecuencia y complejidad son de igual importancia y los de menor importancia en comparación con el resto de características.

Tabla 8-2: Grado de importancia de las características de las tecnologías inalámbricas

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	Total	Peso
C1	-	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0,02
C2	1	-	0	0	0	0	1	1	1	1	5	0,1
C3	1	1	-	0	0	1	1	1	1	1	7	0,14
C4	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	9	0,18
C5	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	9	0,18
C6	1	1	1	0	0	-	1	1	1	1	7	0,14
C7	1	0	0	0	0	0	-	1	0	1	3	0,06
C8	1	0	0	0	0	0	0	-	0	0	1	0,02
C9	1	1	0	0	0	0	1	1	-	1	5	0,1
C10	1	0	0	0	0	0	1	1	0	-	3	0,06

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

En la Tabla 9-2 se muestra las calificaciones cuantitativas que obtuvieron las características de cada tecnología inalámbrica, donde la característica la capacidad de expansión (C7) alcanzó la mejor calificación de 0,5 en las tecnologías Wi-Fi y Zigbee pero la más baja 0 en Bluetooth.

Tabla 9-2: Calificación cuantitativa de las características de las tecnologías inalámbricas

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9		C10	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
W	4	0,33	2	0,2	3	0,3	3	0,3	4	0,33	3	0,38	4	0,5	3	0,38	4	0,33	3	0,3
B	4	0,33	4	0,4	4	0,4	3	0,3	4	0,33	1	0,12	0	0	1	0,12	4	0,33	3	0,3
Z	4	0,33	4	0,4	3	0,3	4	0,4	4	0,33	4	0,5	4	0,5	4	0,5	4	0,33	4	0,4

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

En la Tabla 10-2 se muestran las relaciones entre las evaluaciones cuantitativas de las características de cada tecnología inalámbrica con su respectivo peso de importancia, donde la tecnología que consiguió una mayor calificación total fue Zigbee con 0,387 y la menor calificación total es Bluetooth con 0,2862.

Tabla 10-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de las tecnologías inalámbricas

Tec. Carac.		Wi-Fi		Bluetooth		Zigbee	
	Peso	Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
C1	0,02	0,33	0,0066	0,33	0,0066	0,33	0,0066
C2	0,1	0,2	0,02	0,4	0,04	0,4	0,04
C3	0,14	0,3	0,042	0,4	0,056	0,3	0,042
C4	0,18	0,3	0,054	0,3	0,054	0,4	0,072
C5	0,18	0,33	0,0594	0,33	0,0594	0,33	0,0594
C6	0,14	0,38	0,0532	0,12	0,0168	0,5	0,07
C7	0,06	0,5	0,03	0	0	0,5	0,03
C8	0,02	0,38	0,0076	0,12	0,0024	0,5	0,01
C9	0,1	0,33	0,033	0,33	0,033	0,33	0,033
C10	0,06	0,3	0,018	0,3	0,018	0,4	0,024
Calificación Total			0,3238		0,2862		0,387

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

INTERPRETACIÓN: Analizadas las calificaciones totales resultantes de la Tabla 10-2, la opción más adecuada es la tecnología Zigbee que con un valor de 0,387 que superó a las otras opciones.

2.6.3. Selección de los Sensores

De acuerdo con los requerimientos del proyecto, los sensores requeridos por el proyecto RMF son: Oxígeno Disuelto, pH, Temperatura y Turbidez. Para el análisis de cada sensor se tomará en cuenta tres modelos que se ofrecen en el mercado que pueden adaptarse a las necesidades del proyectó.

2.6.3.1. Selección del Sensor de Oxígeno Disuelto

Para la selección del sensor de oxígeno disuelto se tomó en cuenta tres modelos de sensores: Dissolved EZO™, DOS-808F, Oxymax COS61. Se consideró las características definidas en la Tabla 11-2, que son: voltaje, rango de medición, error, temperatura, calibración, tiempo de vida, circuito acondicionador, inversión, disponibilidad en el mercado y aplicaciones.

Tabla 11-2: Características de los modelos de sensores de Oxígeno Disuelto

Símbolo	Características	Disolved EZO™ (S1)	DOS-808F (S2)	Oxymáx COS61 (S3)
C1	Voltaje	3.3 V o 5V	0,7 V	5 V
C2	Rango de medición	(0,01 – 35,99) mg/l (0,1-100) % Sast.	(0-20) mg/l (p.p.b.)	(0-20) mg/l (0-200) % Sat.
C3	Error	+/- 0,05 mg/l	+/- 1 p.p.b	+/- 0,01 mg/l
C4	Temperatura	(1-50) °C	(0-60) °C	(-5 – 60) °C
C5	Calibración	1 o 2 puntos	No	Guardada en el dispositivo
C6	Tiempo de vida	>5 años Calibración c/1año	>3años Calibración c/60días	>2años Calibración c/30días
C7	Circuito acondicionador	Si	No	No
C8	Inversión	\$257.45 + envío	\$300 + envío	\$551 + envío
C9	Disponibilidad en el mercado	Compra online en el exterior	Compra online en el exterior	Compra online en el exterior
C10	Aplicaciones	Campo, peceras, alimentación, y monitorización ambiental.	Planta de energía, agua residual, tratamiento de agua.	Tratamiento de agua, monitorización de ríos, apicultura.

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Press, 2017a, p. 1); (AtalsScientific, 2017, p. 1); (Alibaba Group, 2017); (Endress+Hauser Inc., 2017)

Para realizar la Tabla 12-2 de los grados de importancia de las características de los sensores de oxígeno disuelto, donde las características de mayor importancia obtuvieron un peso de 0,17 mientras que las menores alcanzaron un peso de 0,04, se consideró:

- Las características de mayor importancia son las aplicaciones y rango de medida.
- En segundo lugar de grado de importancia de las características están el error y la calibración.
- El grado de importancia del tiempo de vida y la temperatura es del tercer lugar y serán de mayor importancia que el circuito acoplador.
- El circuito acondicionador tiene mayor importancia que el costo, disponibilidad del mercado y voltaje son de igual grado de importancia, además de ser los de menor grado de importancia de entre todas las características.

Tabla 12-2: Grado de importancia de los sensores de Oxígeno Disuelto

Carac	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	Total	Peso
C1	-	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0,04
C2	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0,17
C3	1	0	-	1	1	1	1	1	1	0	7	0,14
C4	1	0	0	-	0	1	1	1	1	0	5	0,1
C5	1	0	1	1	-	1	1	1	1	0	7	0,14
C6	1	0	0	1	0	-	1	1	1	0	5	0,1
C7	1	0	0	0	0	0	-	1	1	0	3	0,06
C8	1	0	0	0	0	0	0	-	1	0	2	0,04
C9	1	0	0	0	0	0	0	1	-	0	2	0,04
C10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	9	0,17

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

En la Tabla 13-2 se muestran las calificaciones cuantitativas de cada una de las características de los sensores de oxígeno disuelto, donde las características rango de medición (C2) y temperatura (C4) obtuvieron la misma alta calificación 4 (0,33) en las tres modelos de sensores.

Tabla 13-2: Calificación cuantitativa de las características de los modelos de sensores de Oxígeno Disuelto

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9		C10	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
S1	4	0,36	4	0,33	3	0,3	4	0,33	4	0,57	4	0,4	4	0,67	3	0,37	2	0,33	4	0,36
S2	3	0,27	4	0,33	3	0,3	4	0,33	1	0,14	3	0,3	1	0,17	3	0,37	2	0,33	3	0,27
S3	4	0,36	4	0,33	4	0,4	4	0,33	2	0,29	3	0,3	1	0,17	2	0,25	2	0,33	4	0,36

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

La Tabla 14-2 muestra la relación entre la calificación cuantitativa y el grado de importancia de cada una de las características de los modelos sensores de Oxígeno Disuelto, donde 0,3947 es la mayor calificación total que la alcanzó en sensor Dissolved EZO™ y la menor calificación de 0,2756 obtuvo el sensor DOS-808F.

Tabla 14-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de los sensores de Oxígeno Disuelto

Sensor Caract.	Peso	Disolved EZO™		DOS-808F		Oxymáx COS61	
		Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
C1	0,04	0,36	0,0144	0,27	0,0108	0,36	0,0144
C2	0,17	0,33	0,0561	0,33	0,0561	0,33	0,0561
C3	0,14	0,3	0,042	0,3	0,042	0,4	0,056
C4	0,1	0,33	0,033	0,33	0,033	0,33	0,033
C5	0,14	0,57	0,0798	0,14	0,0196	0,29	0,0406
C6	0,1	0,4	0,04	0,3	0,03	0,3	0,03
C7	0,06	0,67	0,0402	0,17	0,0102	0,17	0,0102
C8	0,04	0,37	0,0148	0,37	0,0148	0,25	0,01
C9	0,04	0,33	0,0132	0,33	0,0132	0,33	0,0132
C10	0,17	0,36	0,0612	0,27	0,04590	0,36	0,0612
Calificación Total			0,3947		0,2756		0,3247

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

INTERPRETACIÓN: En base a las calificaciones totales de la Tabla 14-2 la opción más adecuada es el sensor Disolved EZO™ que obtuvo una calificación de 0,3947, y que se muestra en la Figura 5-2.



Figura 5-2: Kit del Sensor de Oxígeno Disuelto - Disolved EZOTM

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.6.3.2. Selección del Sensor de pH

Para la selección del sensor de pH se tomó en cuenta tres modelos de sensores disponibles en el mercado: pH Sensor Analógico, pH Electrodo y pH EZO™. Las características evaluadas están definidas en la Tabla 15-2, y son: Voltaje, rango de medición, temperatura, error, circuito acondicionador, calibración, tiempo de vida, disponibilidad en el mercado e inversión.

Tabla 15-2: Características de los modelos de sensores de pH

Símbolo	Características	pH sensor Analítico (S1)	pH Electrodo (S2)	pH EZO™ (S3)
C1	Voltaje	5 V	5 V	3,3 V o 5 V
C2	Rango de medición	(0-14) pH	(0-14) pH	(0-14)pH
C3	Temperatura	(0-60) °C	(-10 – 80) °C	(1-99) °C
C4	Error	+/- 0,1pH	+/- 0,2 pH	+/-0,002 pH
C5	Circuito acondicionador	Si	Si	Si
C6	Calibración	Si	Si	Si
C7	Tiempo de vida	>1 año	>1 año	~ 2,5 años
C8	Disponibilidad en el mercado	Si, en el país. Compra online	Si, en el país. Compra online	Compra online en el exterior
C9	Inversión	\$60	\$65+envío	\$149+envío

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (BrincoGeek, 2017); (AliExpress, 2017a); (Press, 2017b)

Para elaborar la Tabla 16-2 del grado de importancia de las características de los sensores de pH, donde las características de mayor importancia obtuvieron un peso de 0,2 y las de menor importancia alcanzaron un peso de 0,025, se consideró:

- Las características de mayor importancia son rango de medición y el error.
- La disponibilidad del mercado y la inversión son de igual importancia, además de mayor importancia que la temperatura y la calibración.
- El tiempo de vida es de menor importancia que la temperatura y la calibración, además es de mayor importancia que el voltaje y el circuito acondicionador.
- El voltaje y el circuito acondicionador son las características de menor importancia.

Tabla 16-2: Grado de importancia de las características de los sensores de pH

Carac	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Total	Peso
C1	-	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,025
C2	1	-	1	1	1	1	1	1	1	8	0,2
C3	1	0	-	0	1	1	1	0	0	4	0,1
C4	1	1	1	-	1	1	1	1	1	8	0,2
C5	1	0	0	0	-	0	0	0	0	1	0,025
C6	1	0	1	0	1	-	1	0	0	4	0,1
C7	1	0	0	0	1	0	-	0	0	2	0,05
C8	1	0	1	0	1	1	1	-	1	6	0,15
C9	1	0	1	0	1	1	1	1	-	6	0,15

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

En la Tabla 17-2 están las calificaciones cuantitativas alcanzadas por las características de los diferentes modelos de sensores de pH, donde cinco características lograron la calificación más alta 4 en los tres modelos de sensores.

Tabla 17-2: Calificación cuantitativa de las características de los sensores de pH

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
S1	4	0,33	4	0,33	4	0,33	3	0,38	4	0,33	4	0,33	3	0,3	4	0,4	4	0,44
S2	4	0,33	4	0,33	4	0,33	1	0,12	4	0,33	4	0,33	3	0,3	4	0,4	3	0,33
S3	4	0,33	4	0,33	4	0,33	4	0,5	4	0,33	4	0,33	4	0,4	2	0,2	2	0,22

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

En la Tabla 18-2 está la relación entre la calificación de las características de los sensores y su grado de importancia, donde el sensor Analítico de pH consiguió la mejor calificación total de 0,3655 y el sensor Electrodo de pH consiguió la menor calificación total de 0,297.

Tabla 18-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de los sensores de pH.

Sensor Carac.	pH sensor Analítico			pH Electrodo		pH EZO™	
	Peso	Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
C1	0,025	0,33	0,00825	0,33	0,00825	0,33	0,00825
C2	0,2	0,33	0,066	0,33	0,066	0,33	0,066
C3	0,1	0,33	0,033	0,33	0,033	0,33	0,033
C4	0,2	0,38	0,076	0,12	0,024	0,5	0,1
C5	0,025	0,33	0,00825	0,33	0,00825	0,33	0,00825
C6	0,1	0,33	0,033	0,33	0,033	0,33	0,033
C7	0,05	0,3	0,015	0,3	0,015	0,4	0,02
C8	0,15	0,4	0,06	0,4	0,06	0,2	0,03
C9	0,15	0,44	0,066	0,33	0,0495	0,22	0,033
Calificación Total			0,3655		0,297		0,3315

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

INTERPRETACIÓN: Analizando las calificaciones totales resultantes de la Tabla 18-2, la opción más adecuada es el Sensor Analógico de pH que obtuvo una calificación de 0,3655, y que se muestra en la Figura 6-2.



Figura 6-2: Sensor Analógico de pH

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.6.3.3. Selección del Sensor de Temperatura

La elección del sensor de temperatura se hizo analizando tres marcas diferentes de sensores de temperatura para agua que el mercado ofrece: DS18B20, SDI-12 y rb-02s048. Las características evaluadas están definidas en la Tabla 19-2, y son: voltaje, rango de medición, error, circuito acondicionador, calibración, tiempo de vida, disponibilidad de mercado, inversión.

Tabla 19-2: Características de los modelos de los sensores de temperatura

Símbolo	Características	DS18B20 (S1)	SDI-12 (S2)	rb-02s048 (S3)
C1	Voltaje	(3-5,5)V	(7-16)V	5V
C2	Rango de medición	(-55 – 120) °C	(-40 – 60) °C	(10-30) °C
C3	Error	+/- 0,5 °C	+/- 00,01°C	+/- 0,5 °C
C4	Circuito acondicionador	No necesita	Si	No necesita
C5	Calibración	Si	Si	Si
C6	Tiempo de vida	Larga	Larga	Larga
C7	Disponibilidad en el mercado	Si, compra en tienda u online	Compra online en el exterior	Compra online en el exterior
C8	Inversión	\$8	\$115.95	\$8 + envío

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Maxim Integrated TM, 2017); (Vegetronix, 2017); (AliExpress, 2017b)

Para elaborar el grado de importancia de la Tabla 20-2, donde las características de mayor importancia obtuvieron un peso de 0,22 y las de menor importancia obtuvieron un peso de 0,03, se consideró:

- El rango de medición y el error son los de mayor importancia.

- Los segundos en importancia son la inversión y el voltaje.
- Los terceros en importancia son el circuito acondicionador y la calibración.
- Los de menor importancia son el tiempo de vida y disponibilidad de mercado.

Tabla 20-2: Grado de importancia de las características de los sensores de pH

Carac	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Total	Peso
C1	-	0	0	1	1	1	1	1	5	0,16
C2	1	-	1	1	1	1	1	1	7	0,22
C3	1	1	-	1	1	1	1	1	7	0,22
C4	0	0	0	-	1	1	1	0	3	0,09
C5	0	0	0	1	-	1	1	0	3	0,09
C6	0	0	0	0	0	-	1	0	1	0,03
C7	0	0	0	0	0	1	-	0	1	0,03
C8	1	0	0	1	1	1	1	-	5	0,16

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

La calificación cuantitativa de las características de los sensores de temperatura para agua está en la Tabla 21-2, donde las características calibración (C5) y tiempo de vida (C6) obtuvieron la calificación más alta en los tres modelos de sensores y la inversión (C8) la menor calificación en el sensor SDI-12 (S2).

Tabla 21-2: Calificación cuantitativa de las características de los sensores de pH

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
S1	4	0,4	4	0,4	3	0,3	4	0,36	4	0,33	4	0,33	4	0,5	4	0,57
S2	2	0,2	4	0,4	4	0,4	3	0,27	4	0,33	4	0,33	2	0,25	1	0,14
S3	4	0,4	2	0,2	3	0,3	4	0,36	4	0,33	4	0,33	2	0,25	2	0,29

Realizado por: Jéssica Montero. 2017

La relación entre la calificación cuantitativa y el grado de importancia de las características de cada sensor está en la Tabla 22-2, donde los sensores SDI-12 y rb-02s048 obtuvieron una calificación total cercana al 0,30 pero fueron superados por el sensor DS18B20 que alcanzó una calificación total de 0,3742.

Tabla 22-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de cada sensor de pH

Sensor Carac.	Peso	DS18B20		SDI-12		rb-02s048	
		Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
C1	0,16	0,4	0,064	0,2	0,032	0,4	0,064
C2	0,22	0,4	0,088	0,4	0,088	0,2	0,044
C3	0,22	0,2	0,044	0,4	0,088	0,3	0,066
C4	0,09	0,36	0,0324	0,27	0,0243	0,36	0,0324
C5	0,09	0,33	0,0297	0,33	0,0297	0,33	0,0297
C6	0,03	0,33	0,0099	0,33	0,0099	0,33	0,0099
C7	0,03	0,5	0,015	0,25	0,0075	0,25	0,0075
C8	0,16	0,57	0,0912	0,14	0,0224	0,29	0,0464
Calificación Total			0,3742		0,3018		0,2999

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

INTERPRETACIÓN: En base a las calificaciones totales de la Tabla 22-2 la opción más adecuada es el sensor DS18B20 que obtuvo una calificación de 0,3742, y que se muestra en la Figura 7-2.



Figura 7-2: Sensor de Temperatura DS18B20

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.6.3.4. Selección del Sensor de Turbidez

Para la selección del sensor de turbidez se tomó en cuenta tres modelos de sensores disponibles en el mercado: SEN0189, OBS300 y AztecATS430. Se consideró las características definidas en la Tabla 23-2, que son: voltaje, rango de medición, error, calibrado, temperatura de operación, circuito acondicionador, inversión, tiempo de vida y disponibilidad en el mercado.

Tabla 23-2: Características de los modelos de sensores de Turbidez

Símbolo	Características	SEN0189 (S1)	OBS300 (S2)	Azte ATS430 (S3)
C1	Voltaje	5V	5V	24V
C2	Rango de medición	Analógica: 0-4.5V Digital: Alto/Bajo	Analógica: 0-5V 250-4000 NTU	0-4000 NTU
C3	Error	Depende de la calibración	+/- 2% 0,5 NTU	+/- 2% 0,5 NTU
C4	Calibrado	Si	Si	Si
C5	Temperatura de operación	(5-90) °C	(0-40) °C	(0-60) °C
C6	Circuito acondicionador	Si	No	No
C7	Inversión	\$10 + envío	\$150+envio	\$300+envio
C8	Tiempo de vida	Larga	Larga	Larga
C9	Disponibilidad en el mercado	Compra online en el exterior	Compra online en el exterior	Compra online en el exterior

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (DFRobot Electronic, 2017); (Campbell Scientific, 2017); (Direct Industry, 2017)

Para elaborar la Tabla 24-2 del grado de importancia de las características de los sensores de turbidez, donde las características de mayor grado de importancia alcanzaron un peso de 0,19 mientras que las de menor importancia obtuvieron un peso de 0,05, se consideró:

- Las características de mayor importancia son el rango de medición y el error.
- El voltaje y la inversión son de igual importancia, pero mayor que la temperatura de operación y el circuito acondicionador.
- Las 3 características de menor nivel son: la calibración el tiempo de vida y la disponibilidad en el mercado.

Tabla 24-2: Grado de importancia de las características de los sensores de turbidez

Carac	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Total	Peso
C1	-	0	0	1	1	1	1	1	1	6	0,14
C2	1	-	1	1	1	1	1	1	1	8	0,19
C3	1	1	-	1	1	1	1	1	1	8	0,19
C4	0	0	0	-	0	0	0	1	1	2	0,05
C5	0	0	0	1	-	1	0	1	1	4	0,09
C6	0	0	0	1	1	-	0	1	1	4	0,09
C7	1	0	0	1	1	1	-	1	1	6	0,14
C8	0	0	0	1	0	0	0	-	1	2	0,05
C9	0	0	0	1	0	0	0	1	-	2	0,05

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

En la Tabla 25-2 se presenta la calificación cuantitativa de las características de los sensores de turbidez, donde la disponibilidad en el mercado obtuvo la menor calificación en todas las marcas de sensores.

Tabla 25-2: Calificación cuantitativa de las características de los sensores de turbidez

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
S1	4	0,5	3	0,27	2	0,2	4	0,33	4	0,4	4	0,5	4	0,57	4	0,33	2	0,33
S2	3	0,37	4	0,36	4	0,4	4	0,33	3	0,3	2	0,25	2	0,29	4	0,33	2	0,33
S3	1	0,13	4	0,36	4	0,4	4	0,33	3	0,3	2	0,25	1	0,14	4	0,33	2	0,33

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

La Tabla 26-2 se muestra la relación entre la calificación cuantitativa y el grado de importancia de las características de los sensores donde el sensor que alcanzó la mejor calificación total de 0,3696 es SEN0189 y el que obtuvo la menor calificación total de 0,263 es Azte ATS430.

Tabla 26-2: Relación del grado de importancia con la calificación cuantitativa de las características de los sensores de turbidez.

Sensor Carac	Peso	SEN0189		OBS300		Azte ATS430	
		Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
C1	0,14	0,5	0,07	0,37	0,0518	0,13	0,0182
C2	0,19	0,27	0,0513	0,36	0,0684	0,36	0,0684
C3	0,19	0,2	0,038	0,4	0,076	0,4	0,076
C4	0,05	0,33	0,0165	0,33	0,0165	0,33	0,0165
C5	0,09	0,4	0,036	0,3	0,027	0,3	0,027
C6	0,09	0,5	0,045	0,25	0,0225	0,25	0,0225
C7	0,14	0,57	0,0798	0,29	0,0406	0,14	0,0196
C8	0,05	0,33	0,0165	0,33	0,0165	0,33	0,0165
C9	0,05	0,33	0,0165	0,33	0,0165	0,33	0,0165
Calificación Total			0,3696		0,3358		0,263

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

INTERPRETACIÓN: En base a las calificaciones totales de la Tabla 26-2 la opción más adecuada es el sensor SEN0189 que obtuvo una calificación de 0,3696, y que se muestra en la Figura 8-2.

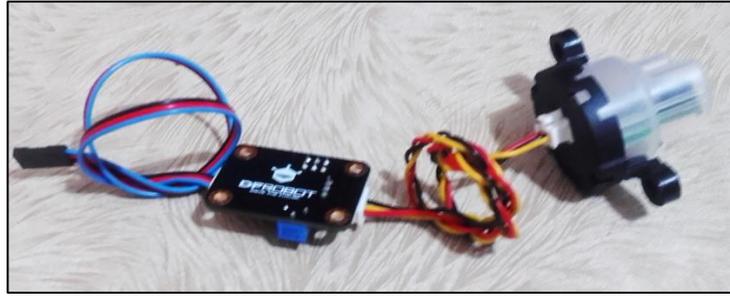


Figura 8-2: Sensor de Turbidez SEN0189

Fuente: (DFRobot Electronic, 2017)

2.6.4. Selección de las Tarjetas de Desarrollo

2.6.4.1. Selección de la tarjeta de desarrollo para el módulo de muestreo

Las tarjetas de desarrollo para los módulos de muestreo deben integrar los 4 sensores para las mediciones, ser pequeñas, fácil de manejar y de bajo consumo de energía. No es necesario que tengan gran capacidad de procesamiento y memoria pues solo almacenara el programa y ciertos datos esenciales, porque los datos de los sensores serán enviados directamente al módulo de recolección de datos.

Como primera parte se eligió entre tres modelos de tarjetas de desarrollo que más se usan en las redes de sensores inalámbricos: Arduino, Waspote y Raspberry Pi. Se consideraron las características definidas en la Tabla 27-2 y son: *software*, variedad de tarjetas, compatibilidad con sensores, compatibilidad con Zigbee, inversión, disponibilidad en el mercado y capacidad de procesamiento.

Tabla 27-2: Características de las tarjetas de desarrollo del módulo de muestreo

Símbolo	Características	Arduino (A)	Waspote (W)	Raspberry Pi (R)
C1	<i>Software</i>	Sin licencia, Arduino IDE	Sin licencia, Waspote IDE	Sin licencia, Linux/GNU
C2	Variedad de tarjetas	Alta	No	Baja
C3	Compatibilidad con sensores	Si	Solo con sensores de marca Libelium	Si
C4	Compatibilidad con Zigbee	Si	Si	Si
C4	Inversión	Baja	Alta	Media-Baja
C6	Disponibilidad en el mercado	Si, en tiendas u online	Compra online en el exterior	Si, en tiendas u online
C7	Capacidad de procesamiento	Normal	Alta	Alta

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Arduino , 2017); (Libelium, 2016); (Raspberry Pi Foundation, 2017)

Para elaborar la Tabla 28-2 de grados de importancia de las características de las tarjetas de desarrollo, donde las características de mayor importancia alcanzó un peso de 0,23 y las de menor importancia consiguieron un peso de 0,08 se consideró:

- Las características de mayor grado de importancia son variedad de tarjetas y la inversión.
- Las segundas características en grado de importancia son disponibilidad en el mercado y la capacidad de procesamiento.
- Las últimas características en grado de importancia son: software, compatibilidad con sensores y compatibilidad con Zigbee.

Tabla 28-2: Grado de importancia de las características de las tarjetas de desarrollo del módulo de muestreo

Carac.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Total	Peso
C1	-	0	1	1	0	0	0	2	0,08
C2	1	-	1	1	1	1	1	6	0,23
C3	1	0	-	1	0	0	0	2	0,08
C4	1	0	1	-	0	0	0	2	0,08
C5	1	1	1	1	-	1	1	6	0,23
C6	1	0	1	1	0	-	1	4	0,15
C7	1	0	1	1	0	1	-	4	0,15

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

En la Tabla 29-2 se muestra la calificación cuantitativa de las características de las tres modelos de tarjetas de desarrollo, donde *software* y compatibilidad con Zigbee obtuvieron las mejores calificaciones en las tres tarjetas evaluadas.

Tabla 29-2: Calificación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo para el módulo de muestreo

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
A	4	0,33	4	0,44	4	0,4	4	0,33	4	0,44	4	0,4	3	0,33
W	4	0,33	2	0,22	2	0,2	4	0,33	2	0,22	2	0,2	3	0,33
R	4	0,33	3	0,33	4	0,4	4	0,33	3	0,33	4	0,4	3	0,33

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

La Tabla 30-2 muestra la relación entre la calificación de las características y su grado de importancia, donde la calificación total más alta de 0,3967 obtuvo Arduino y la calificación total más baja de 0,2495 obtuvo Waspote.

Tabla 30-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de cada tarjeta de desarrollo de los nodos sensores

Sensor Carac.	Arduino			Waspnote		Raspberry Pi	
	Peso	Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
C1	0,08	0,33	0,0264	0,33	0,0264	0,33	0,0264
C2	0,23	0,44	0,1012	0,22	0,0506	0,33	0,0759
C3	0,08	0,4	0,032	0,2	0,016	0,4	0,032
C4	0,08	0,33	0,0264	0,33	0,0264	0,33	0,0264
C5	0,23	0,44	0,1012	0,22	0,0506	0,33	0,0759
C6	0,15	0,4	0,06	0,2	0,03	0,4	0,06
C7	0,15	0,33	0,0495	0,33	0,0495	0,33	0,0495
Calificación Total			0,3967		0,2495		0,3461

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

INTERPRETACIÓN: Analizadas las calificaciones totales resultantes de la Tabla 30-2, la modelo de tarjeta de desarrollo más adecuada es Arduino que logró una calificación total de 0,3967.

2.6.4.2. Selección del tipo de Arduino

Se tomó en cuenta tres de las principales tarjetas que ofrece Arduino: Arduino UNO REV3, Arduino MEGA 2560 Rev3 y Arduino YÚN. Se consideraron las características definidas en la Tabla 31-2 que son: Microcontrolador, voltaje de operación, pines digitales, pines analógicos, memoria EEPROM, clock speed, inversión y disponibilidad en el mercado.

Tabla 31-2: Características de los modelos de tarjetas de desarrollo de Arduino

Símbolo	Características	Arduino UNO Rev3 (U)	Arduino MEGA2560 Rev3 (M)	Arduino YÚN (Y)
C1	Microcontrolador	ATmega328P	ATmega2560	Atmega32V4
C2	Voltaje de operación	5V	5V	5V
C3	Pines Digitales	14 pines	54 pines	20 pines
C4	Pines Analógicos	6 pines	16 pines	12 pines
C5	Memoria EEPROM	1 kb	4 kb	1 kb
C6	Clock Speed	16MHz	16MHz	16MHz
C7	Inversión	\$28	\$36	\$56,20
C8	Disponibilidad en el mercado	Si, compra en tienda u online	Si, compra en tienda u online	Si, compra online en el país

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Arduino , 2017)

Para la Tabla 32-2 de la relación del grado de importancia de las características de las tarjetas de desarrollo Arduino, donde las características de mayor importancia alcanzaron un peso de 0,2 y las de menor importancia alcanzaron un peso de 0,06, se considera:

- Las características de mayor importancia son memoria EEPROM, pines digitales y pines analógicos.
- Las segundas características en grado de importancia son la inversión y la disponibilidad en el mercado.
- Finalmente, los de menor grado de importancia son el voltaje de operación, el microcontrolador y clock speed.

Tabla 32-2: Grado de importancia de las características de tarjetas de desarrollo Arduino

Carac	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Total	Peso
C1	-	1	0	0	0	1	0	0	2	0,06
C2	1	-	0	0	0	1	0	0	2	0,06
C3	1	1	-	1	1	1	1	1	7	0,2
C4	1	1	1	-	1	1	1	1	7	0,2
C5	1	1	1	1	-	1	1	1	7	0,2
C6	1	1	0	0	0	-	0	0	2	0,06
C7	1	1	0	0	0	1	-	1	4	0,11
C8	1	1	0	0	0	1	1	-	4	0,11

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

En la Tabla 33-2 se muestra la calificación cuantitativa de cada característica de las tarjetas de desarrollo de Arduino, donde la inversión (C7) es la característica que menor calificación obtuvo en la tercera opción de tarjeta Arduino YÚN (Y) en contraste con la mayor calificación que obtuvo en la tarjeta Arduino UNO Rev3 (U).

Tabla 33-2: Calificación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo de Arduino

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
U	4	0,33	4	0,33	4	0,36	4	0,36	3	0,3	4	0,33	4	0,44	4	0,36
M	4	0,33	4	0,33	3	0,37	3	0,27	4	0,4	4	0,33	3	0,33	4	0,36
Y	4	0,33	4	0,33	4	0,36	4	0,36	3	0,3	4	0,33	2	0,22	3	0,27

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

En la Tabla 34-2 se muestra la relación entre la calificación cuantitativa y el grado de importancia de las características de cada una de las tarjetas de desarrollo, donde las tarjetas

Arduino UNO y Arduino MEGA lograron calificaciones totales altas pero quien supero fue la tarjeta Arduino UNO.

Tabla 34-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo de Arduino.

Sensor Carac.	Peso	Arduino UNO		Arduino MEGA		Arduino YÚN	
		Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
C1	0,06	0,33	0,0198	0,33	0,0198	0,33	0,0198
C2	0,06	0,33	0,0198	0,33	0,0198	0,33	0,0198
C3	0,2	0,36	0,072	0,37	0,074	0,36	0,072
C4	0,2	0,36	0,072	0,27	0,054	0,36	0,072
C5	0,2	0,3	0,06	0,4	0,08	0,3	0,06
C6	0,06	0,33	0,0198	0,33	0,0198	0,33	0,0198
C7	0,11	0,44	0,0484	0,33	0,0363	0,22	0,0242
C8	0,11	0,36	0,0396	0,36	0,0396	0,27	0,0297
Calificación Total			0,3514		0,3433		0,3173

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

INTERPRETACIÓN: En base a las calificaciones totales de la Tabla 34-2 la opción más adecuada es la tarjeta Arduino UNO Rev3 que obtuvo una calificación de 0,3514 y que se muestra en la Figura 9-2.



Figura 9-2: Arduino UNO Rev3

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.6.4.3. Selección de la tarjeta de desarrollo para el módulo de recolección de datos

La tarjeta de desarrollo para el módulo de recolección de datos no integra ningún sensor, solo el módulo de comunicación inalámbrica Zigbee. Es necesario que tenga capacidad de

procesamiento y almacenamiento pues recolecta y almacena la información enviada por los módulos de muestreo.

Se eligió de entre tres modelos de tarjetas de desarrollo más usas en redes de sensores inalámbricos: Arduino, Waspote y Rasberry Pi. Se tomó en cuenta las características definidas en la Tabla 35-2: *software*, variedad de tarjetas, compatibilidad con Zigbee, memoria, capacidad de procesamiento, inversión y disponibilidad en el mercado.

Tabla 35-2: Características de los modelos de tarjetas de desarrollo del módulo de recolección de datos

Símbolo	Características	Arduino (A)	Waspote (W)	Rasberry Pi (R)
C1	Software	Sin Licencia, Arduino IDE	Sin Licencia, Waspote IDE	Sin licencia, Linux/GNU
C2	Variedad de tarjetas	Alta	No	Baja
C3	Compatibilidad con Zigbee	Si	Si	Si
C4	Memoria	En algunos casos expandible	Expandible	Expandible
C5	Capacidad de procesamiento	Normal	Alta	Alta
C6	Inversión	Baja	Alta	Media-Baja
C7	Disponibilidad en el mercado	Si, en tienda u online	Compra online en el exterior	Si, en tiendas u online

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Arduino , 2017); (Libelium, 2016); (Raspberry Pi Foundation, 2017)

Para elaborar la Tabla 36-2 del grado de importancia de las características de las tarjetas de desarrollo, donde las características de mayor grado de importancia alcanzaron un peso de 0.25 y las de menor grado de importancia lograron un peso de 0,04, se consideró:

- La memoria y capacidad de procesamiento son las características de mayor importancia
- En segundo lugar de importancia están la inversión y la disponibilidad de mercado.
- El tercer lugar de importancia es para la compatibilidad con Zigbee.
- El último grado de importancia de las características es para el software y la variedad de tarjetas.

Tabla 36-2: Grado de importancia de las características de las tarjetas de desarrollo del módulo de recolección de datos

Carac.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Total	Peso
C1	-	1	0	0	0	0	0	1	0,04
C2	1	-	0	0	0	0	0	1	0,04
C3	1	1	-	0	0	0	0	2	0,08
C4	1	1	1	-	1	1	1	6	0,25
C5	1	1	1	1	-	1	1	6	0,25
C6	1	1	1	0	0	-	1	4	0,17
C7	1	1	1	0	0	1	-	4	0,17

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

La Tabla 37-2 muestra la calificación cuantitativa de cada una de las características de las tarjetas de desarrollo, donde el software y compatibilidad con Zigbee obtuvieron la más alta calificación en los tres modelos de tarjetas.

Tabla 37-2: Calificación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo del módulo de recolección de datos

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
A	4	0,33	4	0,4	4	0,33	3	0,27	3	0,27	4	0,44	4	0,4
W	4	0,33	2	0,2	4	0,33	4	0,36	4	0,36	2	0,22	2	0,2
R	4	0,33	4	0,40	4	0,33	4	0,36	4	0,36	3	0,33	4	0,4

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

La Tabla 38-2 muestra la relación existente entre la calificación de las características de las tarjetas de desarrollo con su grado de importancia, donde la tarjeta que obtuvo la mayor calificación total es Raspberry Pi y la que menor calificación obtuvo fue Waspote.

Tabla 38-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo del nodo central.

Sensor Carac.	Arduino		Waspnote		Raspberry Pi		
	Peso	Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
C1	0,04	0,33	0,0132	0,33	0,0132	0,33	0,0132
C2	0,04	0,4	0,016	0,2	0,008	0,4	0,016
C3	0,08	0,33	0,0264	0,33	0,0264	0,33	0,0264
C4	0,25	0,27	0,0675	0,36	0,09	0,36	0,09
C5	0,25	0,27	0,0675	0,36	0,09	0,36	0,09
C6	0,17	0,44	0,0748	0,22	0,0374	0,33	0,0561
C7	0,17	0,4	0,068	0,2	0,034	0,4	0,068
Calificación Total			0,334		0,299		0,3597

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

INTERPRETACIÓN: Analizadas las calificaciones totales resultantes de la Tabla 38-2, la opción más adecuada es la tarjeta Raspberry Pi que con una calificación total de 0,3597 superó a las otras opciones.

2.6.4.4. Selección del tipo de Raspberry Pi

Se seleccionó tres de los tipos de tarjetas que Raspberry ofrece: Raspberry Pi Zero W, Raspberry Pi 2 Model B y Raspberry Pi 3 Model B. Se consideraron las características definidas en la Tabla 39-2, que son: CPU, puertos USB, memoria SDRAM, almacenamiento integrado, conectividad, voltaje, disponibilidad en el mercado e inversión.

Tabla 39-2: Características de los modelos de las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi

Símbolo	Características	Raspberry Pi Zero W (Z)	Raspberry Pi 2 Model B (2B)	Raspberry Pi 3 Model B (3B)
C1	CPU	1GHz Single-Core	900MHz quad-core ARM Cortex A7	1,2GHz 64 bits quad-core ARMU8
C2	Puertos USB	1 Micro USB	4 USB	4 USB
C3	Memoria SDRAM	512MB	1GB	1GB
C4	Almacenamiento integrado	microSD	microSD	microSD
C5	Conectividad	Wi-Fi 802.11b/g/n Bluetooth 4.1	Ethernet (RJ-45)	Ethernet Wi-Fi 802.11n Bluetooth 4.1
C6	Voltaje	5V	5V	5V
C7	Disponibilidad en el mercado	Compra online en el exterior	Si, compra en tienda u online	Si, compra en tienda u online
C8	Costo	\$35	\$50	\$50

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Raspberry Pi Foundation, 2017)

Para elaborar la Tabla 40-2 de la relación del grado de importancia de las características de las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi, donde las características de mayor importancia alcanzaron un peso de 0,22 y las de menor importancia obtuvieron un peso de 0,03, se considera:

- Las características de mayor importancia son CPU y memoria SDRAM.
- Las segundas características en grado de importancia son almacenamiento integrado y conectividad.
- Las terceras características en grado de importancia son disponibilidad en el mercado e inversión.
- Y las últimas características en grado de importancia son puertos USB y voltaje.

Tabla 40-2: Grado de importancia de las características de las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi

Carac.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Total	Peso
C1	-	1	1	1	1	1	1	1	7	0,22
C2	0	-	0	0	0	1	0	0	1	0,03
C3	1	1	-	1	1	1	1	1	7	0,22
C4	0	1	0	-	1	1	1	1	5	0,16
C5	0	1	0	1	-	1	1	1	5	0,16
C6	0	1	0	0	0	-	0	0	1	0,03
C7	0	1	0	0	0	1	-	1	3	0,09
C8	0	1	0	0	0	1	1	-	3	0,09

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

La Tabla 41-2 muestra la clasificación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo de Raspberry Pi, donde Raspberry Pi Zero W (Z) obtuvo calificaciones bajas de 2 en las características de puertos USB (C2) y disponibilidad en el mercado (C7) y Raspberry Pi 2 Model B (2B) obtuvo dicha calificación en la característica de conectividad (C5).

Tabla 41-2: Calificación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo de Raspberry Pi

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
Z	4	0,36	2	0,2	3	0,27	4	0,33	4	0,4	4	0,33	2	0,2	4	0,4
2B	3	0,27	4	0,4	4	0,36	4	0,33	2	0,2	4	0,33	4	0,4	3	0,3
3B	4	0,36	4	0,4	4	0,36	4	0,33	4	0,4	4	0,33	4	0,4	3	0,3

Realizado por: Jéssica Montero. 2017

La Tabla 42-2 muestra la relación entre la calificación cuantitativa y su grado de importancia de las características de las tarjetas de desarrollo de Raspberry Pi, donde la mayor calificación de 0,3601 la alcanzó Raspberry Pi 3 Model B y la menor calificación total de 0,3083 obtuvo la tarjeta Raspberry Pi 2 Model B.

Tabla 42-2: Relación del grado de importancia con la evacuación cuantitativa de las características de las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi

Sensor Carac.	Peso	Raspberry Pi Zero W		Raspberry Pi 2 Model B		Raspberry Pi 3 Model B	
		Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
C1	0,22	0,36	0,0792	0,27	0,0594	0,36	0,0792
C2	0,03	0,2	0,006	0,4	0,012	0,4	0,012
C3	0,22	0,27	0,0594	0,36	0,0792	0,36	0,0792
C4	0,16	0,33	0,0528	0,33	0,0528	0,33	0,0528
C5	0,16	0,4	0,064	0,2	0,032	0,4	0,064
C6	0,03	0,33	0,0099	0,33	0,0099	0,33	0,0099
C7	0,09	0,2	0,018	0,4	0,036	0,4	0,036
C8	0,09	0,4	0,036	0,3	0,027	0,3	0,027
Calificación Total			0,3253		0,3083		0,3601

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

INTERPRETACIÓN: En base a las calificaciones totales de la Tabla 42-2 la opción más adecuada es Raspberry Pi 3 Modelo B que obtuvo una calificación de 0,3601, y que se muestra en la Figura 10-2.

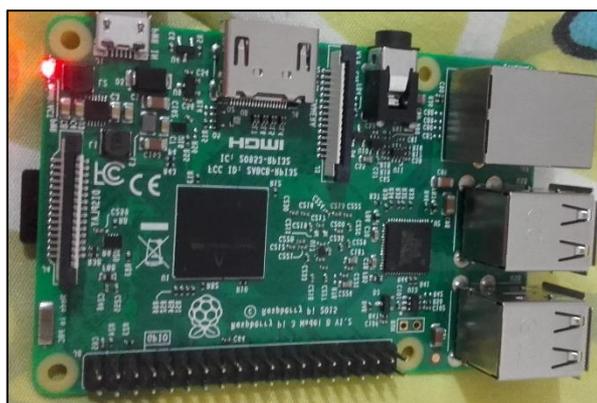


Figura 10-2: Raspberry Pi 3 Modelo B

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.6.5. Selección de los Módulos con Tecnología Inalámbrica Zigbee

Los módulos Zigbee deben ser compatibles con las tarjetas de desarrollo y cumplir con las necesidades del proyecto. Los módulos que se compararon son: Xbee S1, Xbee PRO S2 y HAC-LBee señal 2,4G. Se evaluó las características definidas en la Tabla 43-2, que son: voltaje, tasa máxima de datos, potencia de salida, rango, antena, encriptación, disponibilidad en el mercado e inversión.

Tabla 43-2: Características de los modelos de módulos Zigbee

Símbolo	Características	Xbee S1 (X1)	Xbee PRO S2 (X2)	HAC-LBee señal 2,4G (H)
C1	Voltaje	3,3 V	3,3 V	3,3 V
C2	Tasa máx. de datos	250Kbps	250Kbps	250Kbps
C3	Potencia de salida	1mW (0dBm)	63Mw (17dBm)	100mW (20dBm)
C4	Rango	100m	120 -1500m	1000m
C5	Antena	Built	Alámbrica	Antena externa
C6	Encriptación	128bits	128bits	128bits
C7	Disponibilidad en el mercado	Si, compra en tienda u online	Si, compra en tienda u online	Compra online en el exterior
C8	Inversión	\$40	\$75	\$50+envio

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (MCI electronics, 2017); (Shenzhen HAC Telecom Technology Co. Ltd. , 2013)

Para elaborar la Tabla 44-2 del grado de importancia para los módulos Zigbee, donde las características de mayor importancia obtuvieron un peso de 0,21 y las de menor importancia alcanzaron un peso de 0,06, se consideró:

- Las características de mayor grado de importancia son la potencia de salida y el rango.
- Las segundas características en grado de importancia son la disponibilidad y el costo.
- En tercer lugar de grado de importancia esta la antena y, es mayor que las tres últimas características voltaje, tasa máxima de datos y encriptación.

Tabla 44-2: Grado de importancia de las características de los módulos Zigbee

Carac	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Total	Peso
C1	-	1	0	0	0	1	0	0	2	0,06
C2	1	-	0	0	0	1	0	0	2	0,06
C3	1	1	-	1	1	1	1	1	7	0,21
C4	1	1	1	-	1	1	1	1	7	0,21
C5	1	1	0	0	-	1	0	0	3	0,09
C6	1	1	0	0	0	-	0	0	2	0,06
C7	1	1	0	0	1	1	-	1	5	0,15
C8	1	1	0	0	1	1	1	-	5	0,15

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

La Tabla 45-2 muestra la calificación cuantitativa de las características de los módulos con tecnología Zigbee, donde voltaje (C1) y tasa máxima de datos (C2) son las características que más alta calificación obtuvieron en las tres opciones de módulos Zigbee.

Tabla 45-2: Calificación cuantitativa de las características de los módulos Zigbee

	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
X1	4	0,33	4	0,33	3	0,3	2	0,2	4	0,4	4	0,33	4	0,4	4	0,4
X2	4	0,33	4	0,33	3	0,3	4	0,4	4	0,4	4	0,33	4	0,4	3	0,3
H	4	0,33	4	0,33	4	0,4	4	0,4	2	0,2	4	0,33	2	0,2	3	0,3

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

La Tabla 46-2 muestra la relación entre la calificación cuantitativa de las características y su grado de importancia, donde la mayor calificación total obtuvo Xbee PRO S2 mientras que los dos módulos restantes Xbee S1 y HC-LBee señal 2,4G obtuvieron calificaciones totales similares de 0,3204.

Tabla 46-2: Relación del grado de importancia con la evaluación cuantitativa de las características de los módulos Zigbee.

Sensor Carac	Xbee S1		Xbee PRO S2		HC-LBee señal 2,4G		
	Peso	Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
C1	0,06	0,33	0,0198	0,33	0,0198	0,33	0,0198
C2	0,06	0,33	0,0198	0,33	0,0198	0,33	0,0198
C3	0,21	0,3	0,063	0,3	0,063	0,4	0,084
C4	0,21	0,2	0,042	0,4	0,084	0,4	0,084
C5	0,09	0,4	0,036	0,4	0,036	0,2	0,018
C6	0,06	0,33	0,0198	0,33	0,0198	0,33	0,0198
C7	0,15	0,4	0,06	0,4	0,06	0,2	0,03
C8	0,15	0,4	0,06	0,3	0,045	0,3	0,045
Calificación Total			0,3204		0,3474		0,3204

Realizado por: Montero Jéssica, 2017

INTERPRETACIÓN: En base a las calificaciones totales de la Tabla 46-2 la opción más adecuada es el módulo Xbee PRO S2 que obtuvo una calificación de 0,3474, y que se muestra en la Figura 11-2.

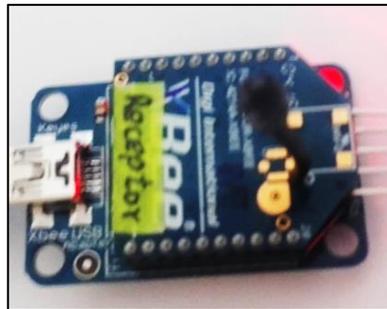


Figura 11-2: Modulo Xbee PRO

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.6.6. Selección de la Fuente de Alimentación

Para la selección de la fuente de alimentación se analizó una batería solar recargable e impermeable de la Figura 12-2 que cubre con los requerimientos del proyecto. La batería resulta óptima en voltaje pues se conecta directamente mediante cable USB de 5v, ofrece dos puertos de 1A y una capacidad de 10000mAh.

La corriente está limitada por el Shield Arduino para la tarjeta Xbee que solo proporciona 500mA pero que son los suficientes para la corriente total del proyecto que es 424,6mA como se muestra en la Tabla 47-2 del cálculo de corriente total. En base a la capacidad de la batería y corriente calculada, se realizó en la misma tabla el cálculo teórico de la duración de una batería

solar que es 16,48 horas. Entendiéndose que esas horas son las que no recepta energía a través de sus paneles solares pero que continúa transmitiendo la energía necesaria la proyecto.

Tabla 47-2: Cálculo de corriente total del proyecto RMF y duración de la batería solar

Elemento	Corriente
Arduino	65mA
Sensor Oxígeno Disuelto	13.1mA
Sensor de pH	10mA
Sensor de Temperatura	1,5mA
Sensor de Turbidez	40mA
Módulo Xbee	295mA
Consumo de corriente total	424,6mA
Capacidad de la batería	10000mA/h
Duración teórica en horas	$(\text{Capacidad de la batería} / \text{consumo del dispositivo}) * 0,7$ $(10000\text{mA/h} / 424,6\text{mA}) * 0,7 = 16,48 \text{ horas}$

Realizado por: Montero Jéssica. 20017



Figura 12-2: Cargador Solar Portátil Impermeable

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.6.7. Selección del Almacenamiento de Datos

La forma de almacenamiento de la información será mediante a la creación de archivos diarios de texto plano que contienen los datos tomados desde los sensores durante un día. Las mediciones se realiza cada 20 segundos por lo tanto al día se toman 4320 datos con un tamaño aproximado de 2,9Mbytes. Estos archivos, si se generan durante un mes de 30 días tienen un tamaño aproximado de 87Mbytes y en base a este resultado se seleccionó las formas siguientes de almacenamiento:

- Una memoria flash con una capacidad de 8Gbytes, pero que en la práctica resultan 6,5Gbytes para almacenamiento, tiene la capacidad suficiente para almacenar los archivos generados durante todo un año.
- Una cuenta de Google manejada por Dirección de Gestión Ambiental, que por defecto tiene una capacidad de almacenamiento de 15Gbytes, suficientes para cubrir los requerimientos de almacenamiento.

2.6.8. Dispositivos adicionales

Según los requerimientos del diseño del proyecto RTM, el módulo de recolección de datos debe mostrar la información obtenida por el módulo de muestro en tiempo real. Es así que, para cumplir con el requerimiento de visualización, donde no es necesario la interacción mediante teclado, se seleccionó un LCD 16x2 de pantalla led azul como se observa en la Figura 13-2. Este elemento electrónico posee las características mostradas en la Tabla 48-2 ideales para el proyecto RMF.



Figura 13-2: Pantalla LCD 16x2

Fuente: Montero Jéssica. 2017

Tabla 48-2: Características del LCD 16x2

Caracteres	16 en cada línea (2 líneas) Caracteres de 5x8 puntos
Tamaño del carácter	5,23x3 mm
Tipo de carácter	Letras, números, caracteres especiales y caracteres creados por el usuario
Color de pantalla	Azul
Color de carácter	Blanco
Voltaje de alimentación	5V
Corriente	2,5mA
Temperatura de operación	(-20 – +50) °C
Dimensiones	80mm x 36mm

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Fuente: (Revolution Education Ltd, 2014)

2.7. Esquema de conexión del proyecto RMF

A continuación se detalla la forma de conexión de los elementos de los módulos en sus respectivas tarjetas de desarrollo.

2.7.1. Esquema de conexión del módulo de muestreo

La Figura 14-2 muestra el esquema de conexión del módulo de muestreo. La base del módulo es la tarjeta Arduino UNO y se comunica con sus componentes de la siguiente manera:

- El módulo Xbee se conecta al Arduino UNO mediante la tarjeta Shield Arduino. El shield solo necesita conectarse sobre la tarjeta Arduino y proveerá de pines para la conexión del módulo Xbee y los que tiene Arduino para conectar los demás componentes. Además, el shield posee dos modos de trabajo, el primero es para programar la tarjeta Arduino, y el segundo es para activar el módulo Xbee.
- El sensor Analógico de pH se conecta mediante el pin Po (valor de pH) al pin analógico A0 del Arduino. Para la alimentación el pin Vcc se conecta al pin de 5V y en pin GND a pin GND del Arduino.
- El sensor de turbidez SEN0189 se conecta mediante su terminal Data al pin 2 del Arduino. Para la alimentación el pin Vcc se conecta al pin de 5V y en pin GND a pin GND del Arduino.
- El sensor de temperatura DS18B20 se conecta mediante su terminal DQ al pin 3 del Arduino. En medio de esta conexión es necesario colocar una resistencia de 4,7k Ω . Para la alimentación el pin Vcc se conecta al pin de 5V y en pin GND a pin GND del Arduino.
- El sensor de oxígeno disuelto Sensor Dissolved EZO™ se conecta al Arduino a través de dos pines: RX al pin 4 y TX al Pin 5. Para la alimentación el pin Vcc se conecta al pin de 5V y en pin GND a pin GND del Arduino.
- La fuente de alimentación de la tarjeta Arduino es mediante el puerto USB Plug, al cual se conecta la batería solar.

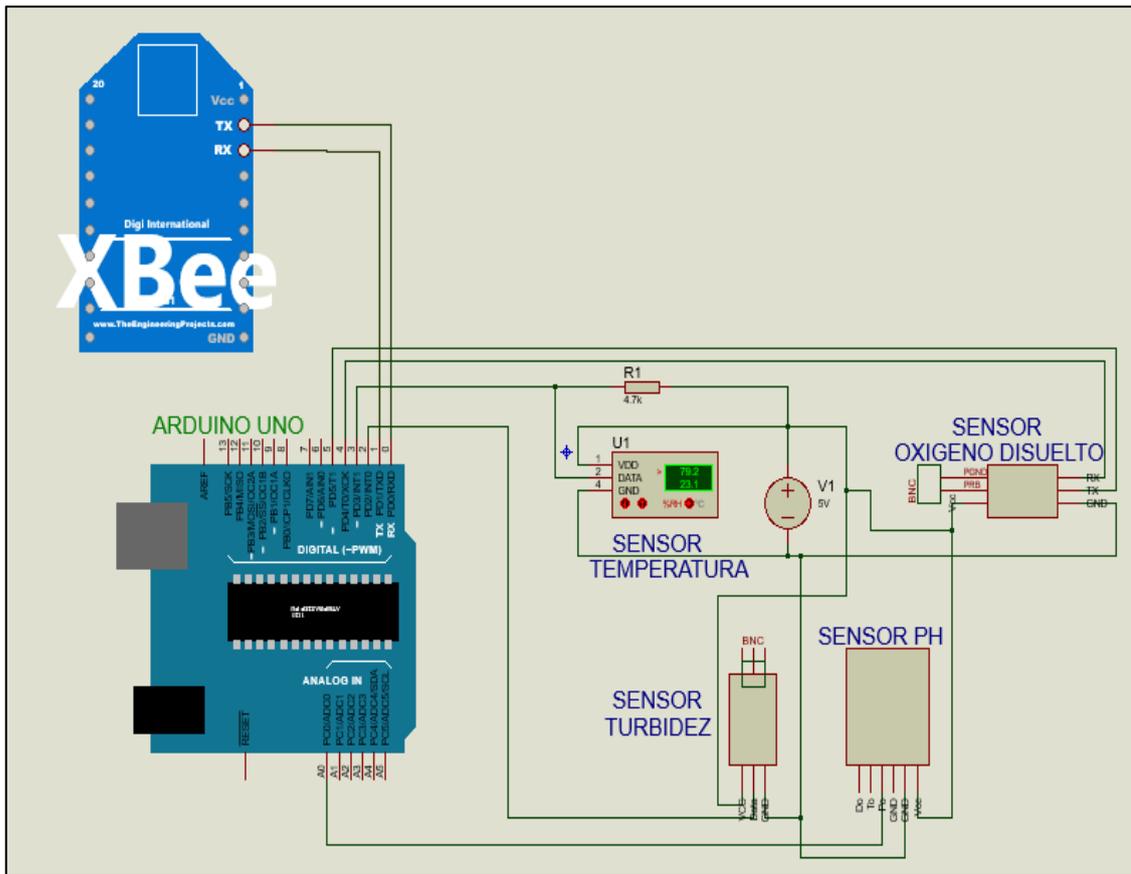


Figura 14-2: Esquema de conexión del módulo de muestreo

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.7.2. Esquema de conexión del módulo de recolección de datos

La Figura 15-2 muestra el esquema de conexión del módulo de muestreo. La base del módulo es la tarjeta Raspberry Pi 3 y se comunica con sus componentes de la siguiente manera:

- La tarjeta micro SD que contiene el Sistema Operativo Raspbian se introduce al puerto microSD de la tarjeta Raspberry.
- La memoria Flash se conecta a la tarjeta Raspberry a través de uno de sus puertos USB.
- El módulo Xbee se debe conectar usando la tarjeta Xbee Explorer a un puerto USB de la tarjeta Raspberry. El Xbee Explorer además se usa para programar los módulos Xbee para tener comunicación entre ellos.
- El LCD 16x2 se conecta a la tarjeta Raspberry mediante los pines GIPO con la siguiente distribución de pines mostrada en la Tabla 49-2:

Tabla 49-2: Distribución de pines del LCD 16x2 para conexión con la Raspberry Pi

LCD	Función	Número de pin
1	GND	6
2	5v	4
3	GND	6
4	GPIO14	8
5	GND	6
6	GPIO15	10
11	GPIO18	12
12	GPIO 23	16
13	GPIO 24	18
14	GPIO 25	22
15	5V	Vcc
16	GND	GND

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

- La fuente de alimentación es a través del puerto microUSB de la tarjeta Raspberry.

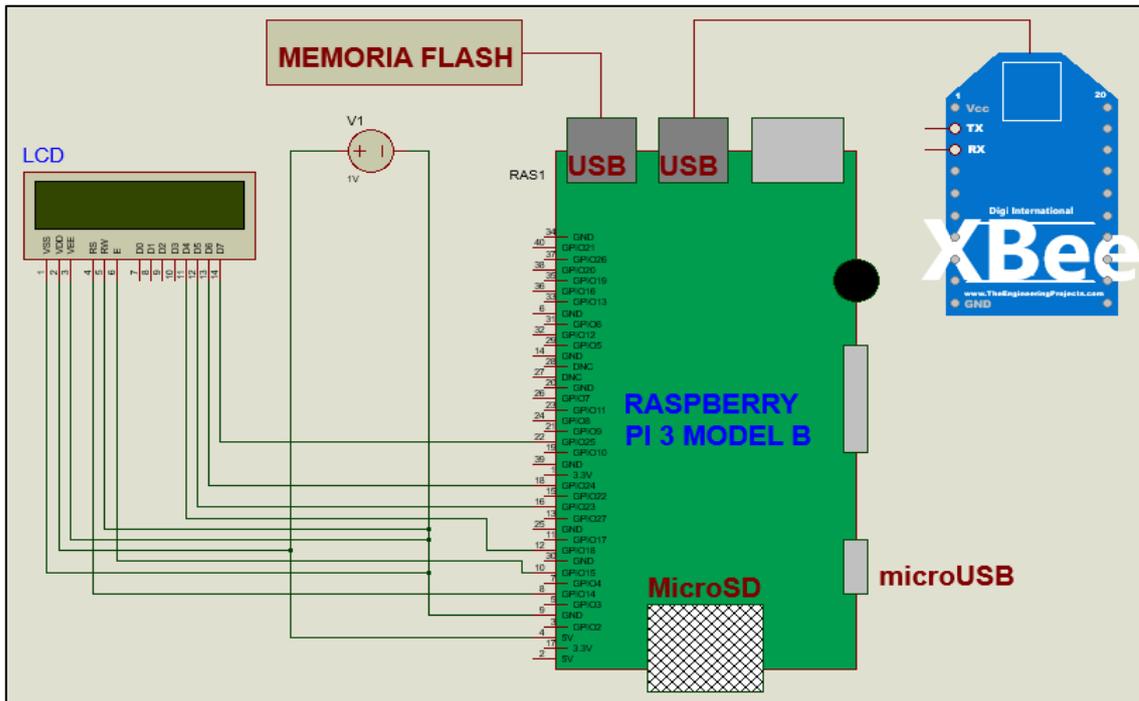


Figura 15-2: Esquema de conexión del módulo recolector de datos

Fuente: Montero Jéssica. 2017

2.8. Software del proyecto RMF

En esta sección se describe las herramientas usadas para la programación de los módulos y los diagramas de flujo en los que se basó para la elaboración del programa principal.

2.8.1. Software de los módulos de comunicación inalámbrica Xbee

2.8.1.1. Herramienta de software XCTU

Es una herramienta para configuración de soluciones Xbee. Es una aplicación gratuita multiplataforma usada para la configuración de una arquitectura de una red inalámbrica de forma simple. Ofrece opciones para construcción marcos API (API Frame Builder) y explorar usuarios (Firmware Release Notes Viewer). (Digi International Inc, 2017)

2.8.1.2. Programación de los módulos Xbee.

Instalado el software XCTU, para programar el módulo Xbee se debe conectar a la computadora por medio del módulo Xbee Explorer. Es necesario definir cuál será el módulo transmisor y el receptor para poder llenar los valores como se muestra en la Tabla 50-2.

Tabla 50-2: Valores de los módulos Xbee para su programación

	TRANSMISOR	RECEPTOR
CH – Canal	C	C
ID – PAN ID	3332	3332
DH Dirección de destino (arriba)	00013A200	00013A200
DL Dirección de destino (abajo)	4103D524	4103D52B
MY Dirección de destino 16-bits	AAAA	AAAA
Tipo de nodo	Nodo Final	Nodo central
NOTA: Los demás valores pueden dejar por defecto.		

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

2.8.2. Software del módulo de muestreo

2.8.2.1. Herramienta de software Arduino IDE

Entorno de desarrollo en lenguaje C que permite crear programas para las tarjetas Arduino. IDE 1.8.5 (Integrated Development Environment) consiste en un editor de código, compilador y depurador que incluye herramientas para cargar la programación a las tarjetas. Posee gestores de librerías y placas para complemento de la programación. Además, posee herramientas de visualización de resultados tanto numéricos como gráficos de la programación existente en una tarjeta. (Arduino , 2017)

2.8.2.2. Diagrama de Flujo del programa principal del módulo de muestreo

La programación de la tarjeta Arduino está integrada por funciones que corresponden a cada sensor integrada a la función principal que es la del oxígeno disuelto. Esta solución se observa en el diagrama de flujo de la Figura 16-2 del algoritmo para la programación del Arduino del Anexo E.

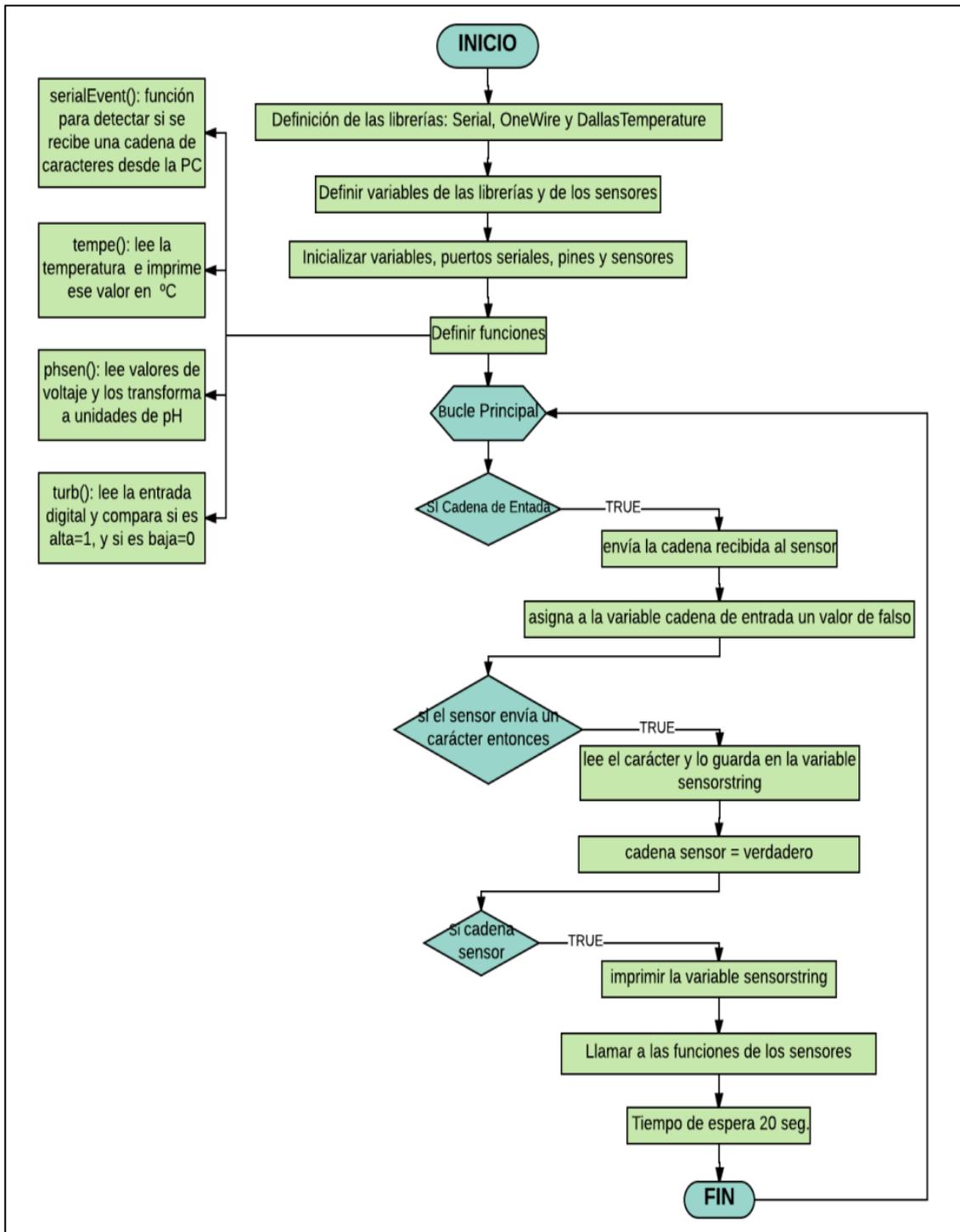


Figura 16-2: Diagrama de flujo para la programación del módulo de muestreo

Fuente: Montero Jéssica. 2017

INICIALIZACIÓN

- Definición de las librerías: Serial usada para activar puertos seriales y, OneWire y DallasTemperature que son librerías del sensor de temperatura.
- Definir variables de las librerías: rx, tx puertos seriales para el oxígeno disuelto, Pin para OneWire y &outWire para DallasTemperature.

- Definir variables para los sensores: oxígeno disuelto (cadena de caracteres, booleano y flotante), pH (entero A0 y variables para programación interna de la función del pH) y para la turbidez (pin de entrada de datos).
- Inicializar variables de cadena de caracteres, puertos seriales, modo de trabajo de pin 13, inicia los sensores y coloca títulos de los valores (“OD pH Tem Tur”).
- Definir las funciones: serialEvent() para ingresar comandos del sensor de oxígeno disuelto, tempe() función del sensor de temperatura, phsen() función del sensor de pH, y turb() función de sensor de turbidez.
- Función serialEvent(): función que ayuda a detectar si la variable cadena de entrada (input_string_complete) recibe una cadena de caracteres, entonces se determina que se está ingresando un comando desde la PC.
- Función tempe(): función del sensor de temperatura que lee la temperatura desde el pin de datos e imprime ese valor transformado a grados Celsius (°C).
- Función phsen(): función del sensor de pH donde, se realiza una lectura de valores de voltaje en intervalos pequeños de tiempo, elimina el valor más alto y el valor más bajo, realiza un promedio de los valores y, transforma el promedio de voltaje a unidades de pH para imprimirlo.
- Función turb(): función del sensor de turbidez donde, lee la entrada digital y compara si es alta (“HIGH”) se imprime un 1 (turbidez alta) y si es baja (“LOW”) se imprime un 0 (turbidez normal).

BUCLE

- La programación del oxígeno disuelto que consiste en tres condiciones. El primer condicional es que si la variable de cadena de entrada (input_string_complete) es verdadera entonces, envía esa cadena al sensor y asigna a la variable cadena de entrada un valor de falso. El segundo condicional es que si el sensor envía un carácter entonces, lee el carácter, lo guarda en la variable sensorstring y asigna como verdadero a la variable cadena del sensor (sensor_string_complete). El último condicional indica que si la variable cadena del sensor (sensor_string_complete) es verdadera entonces, imprimir el valor de la variable sensorstring (valor de oxígeno disuelto en mg/l), llamar a las funciones de los demás sensores y esperar un tiempo de 20 segundos.

2.8.3. Software del módulo de recolección de datos

2.8.3.1. Sistema Operativo Raspbian

Para configurar la tarjeta Raspberry Pi es necesario instalar un sistema operativo. En este caso se usó el sistema operativo Raspbian LITE de Linux/GNU disponible en la página oficial de Raspberry Pi. El sistema operativo se copia a una tarjeta micro SD con el programa

Win32DiskImager. Finalmente se inserta la tarjeta micro SD a la Raspberry y se empieza su instalación. A continuación, se deben realizar las siguientes tareas: actualización del sistema, configuración de nombre del dispositivo, cambio de contraseña y la instalación del paquete de lenguajes de programación Python.

2.8.3.2. Diagrama de Flujo del programa principal del módulo de recolección de datos

La programación de tareas y módulos Raspbian se realiza en scripts. El script principal se realiza con lenguaje de programación Python que incluye la programación del módulo Xbee, el almacenamiento de los archivos y la pantalla LCD. En la Figura 17-2 se observa el diagrama de flujo del script principal (ver Anexo F) que se describe a continuación.

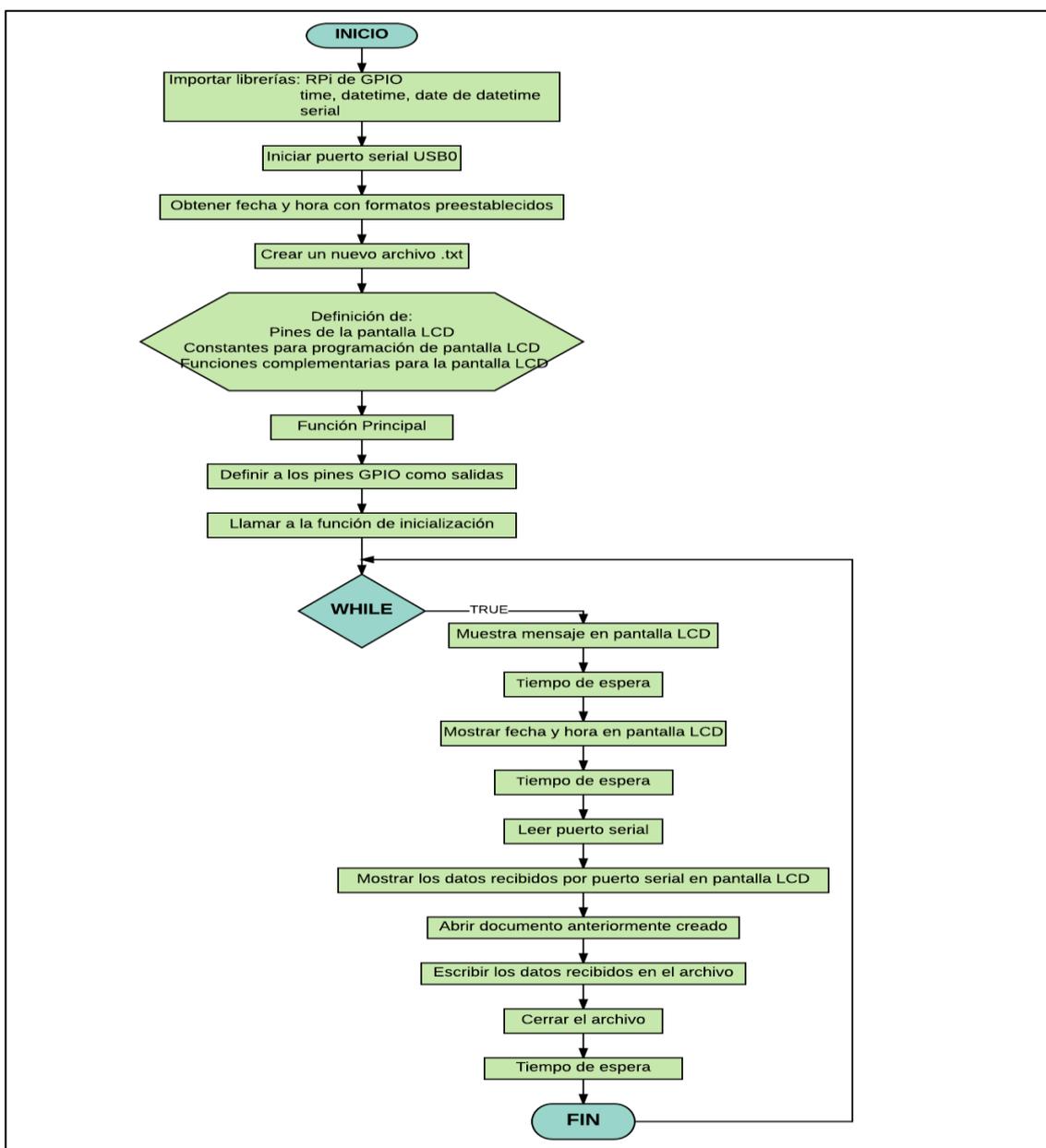


Figura 17-2: Diagrama de flujo del script principal del módulo de recolección de datos

Fuente: Montero Jéssica. 2017

INICIALIZACIÓN

- Importar las librerías: RPi.GPIO del paquete GPIO para configurar los pines del Raspberry, time y datetime del paquete datetime para obtener la fecha y hora, y la librería serial para habilitar la comunicación serial.
- Iniciar como puerto serial el puerto USB0 donde se conecta el módulo Xbee con una velocidad de 9600, que es igual a la programada en la tarjeta Arduino.
- Definir formatos de fecha y hora para crear archivos, guardar los datos y mostraren la pantalla LCD.
- Crear un nuevo archivo con el formato “monitoreo+fecha actual (día-mes-año).txt” en la memoria USB montada automáticamente al iniciar el Raspberry. (ver Anexo F)
- Definición de los pines GPIO conectados a la pantalla LCD, como se muestra en la Tabla 51-2, para enviar la información que se mostrará.

Tabla 51-2: Definición de pines GPIO

GPIO LCD_RS	14
GPIO LCD_E	15
GPIO LCD_D4	18
GPIO LCD_D5	23
GPIO LCD_D6	24
GPIO LCD_D7	25

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

- Definición de constantes para las líneas del LCD, variables de booleanas, variable de ancho = 16 y, constante de tiempo de pulso y de espera = 0.0005.
- Definición de funciones: lcd_init() para iniciar el display, lcd_byte(byte, mode) para definir las salidas en falso hasta cuando deba mostrar información donde serán verdaderas, y lcd_string() para enviar un mensaje cuando se termine la tarea.

BUCLE

- Crear la función principal main(), la cual contiene los siguientes pasos: definir como salidas los pines GPIO, inicializar función lcd_init () e ingresar a la condición While para guardar los datos.
- Mientras la condición While sea verdadero se realizara lo siguiente: mostrar en pantalla un mensaje (línea1=MONITOREO, línea2=Dique Fátima), esperar 5 segundos, mostrar en pantalla LCD la fecha y la hora actuales, esperar 5 segundos, leer el puerto serial y guardar los valores en variable incomming, mostrar el contenido de la variable incomming, abrir el archivo creado en la inicialización, escribir en el archivo el contenido de la variable incomming, cerrar el archivo, y esperar 10 segundos.

Adicionalmente, para que el script principal se ejecute de manera automática, es necesario crear un script detector-init en el directorio /etc/init.d. El script será el encargado de ejecutar el script principal en segundo plano, para ver los detalles de su programación ver el Anexo F. Para el almacenamiento de datos en la cuenta de Google Drive se usó la herramienta INSYNC que se debe instalar en el sistema operativo, este posee sus propios scripts para la sincronización automática con la cuenta para más detalle de la programación ver Anexo F.

2.9. Diseño de la Aplicación para Usuarios Finales

La aplicación para usuarios finales está orientada para que la Dirección de Gestión Ambiental maneje una base de datos histórica de archivos de texto plano del proyecto RMF. La aplicación se desarrolló en el *software* Labview 2016, usado para crear aplicaciones de escritorio, con el diagrama de bloques que se observa en la Figura 18-2. Después de comprobado su funcionamiento se creó una carpeta de instalación y un ejecutable para instalar en las computadoras de la DGA.

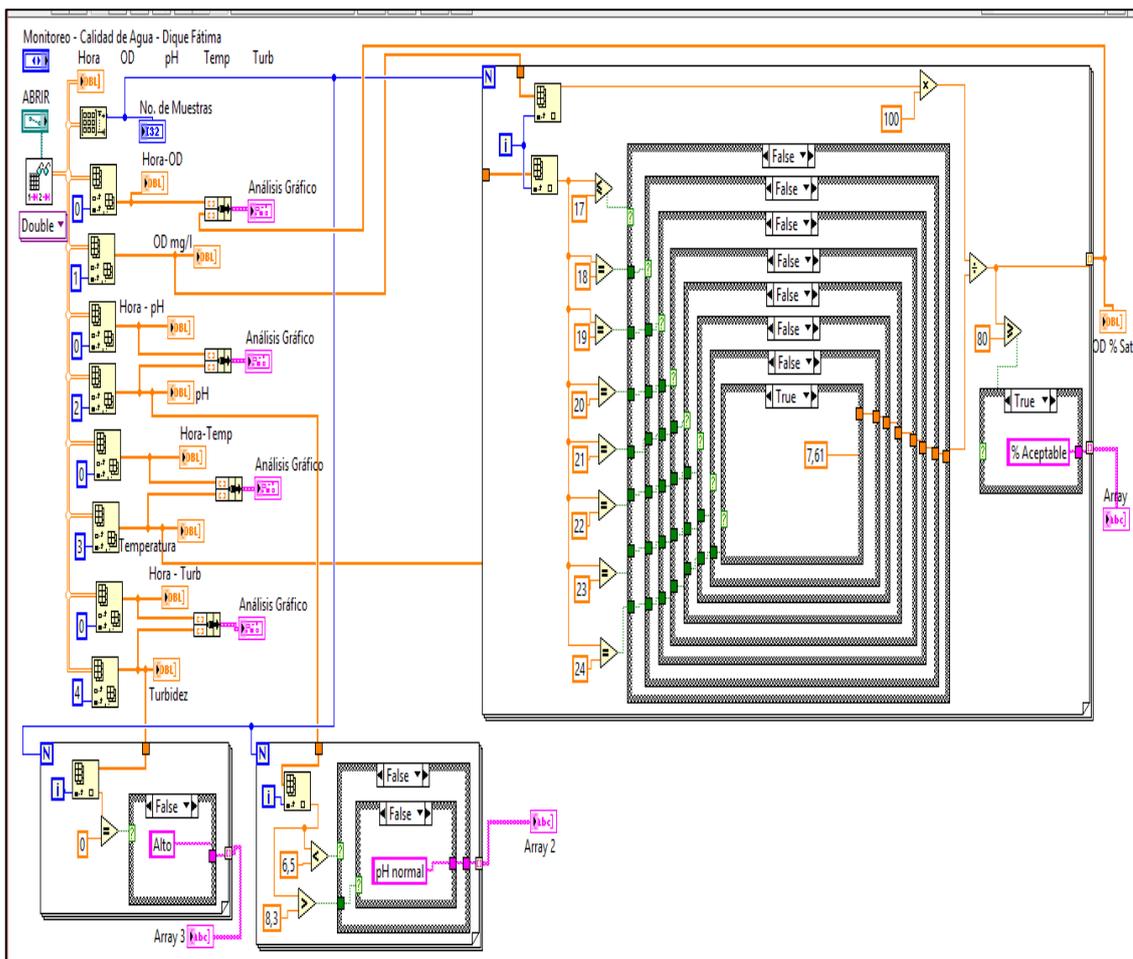


Figura 18-2: Diagrama de bloques de la aplicación para usuarios finales

Fuente: Montero Jéssica. 2017

Mediante la aplicación los usuarios pueden conocer la hora, los valores obtenidos de cada uno de los sensores y si se encuentra dentro de la norma con su respectivo análisis gráfico. Adicionalmente, en la pantalla principal que se muestra en la Figura 19-2 se encuentra un promedio de los valores obtenidos de los sensores con sus respectivos indicadores. Los indicadores serán de color verde cuando los valores estén dentro de la norma de lo contrario el indicador será rojo. Para uso de la aplicación se creó un manual de usuario detallado en el Anexo G.



Figura 19-2: Pantalla inicial de la Aplicación para usuarios finales

Fuente: Montero Jéssica. 2017

CAPÍTULO III

3. MARCO DE PRUEBAS Y RESULTADOS

Este capítulo contiene los resultados alcanzados en las pruebas realizadas con los módulos que componen el prototipo del proyecto RMF. Además, se realizó una evaluación del proyecto realizando pruebas de funcionamiento y calculando el error del sistema. Se incluye un análisis económico del proyecto.

3.1. Calibración de sensores del prototipo del proyecto RMF

Previo a las pruebas de funcionamiento necesitan calibración tres de los sensores del proyecto para su correcto funcionamiento.

3.1.1. Calibración del sensor de oxígeno disuelto

El circuito acoplador del sensor de oxígeno disuelto trabaja en modo UART, el cual permite ingresar comandos para ajustar ciertos valores y para calibrarlo. Para la calibración la sonda debe estar en la solución de oxígeno disuelto que viene con el kit y empezar la lectura de valores. Después ingresar el comando Cal,0 para calibrar a un valor de 0 mg/l, posteriormente ya se pueden hacer las mediciones en otros líquidos.

3.1.2. Calibración del sensor de pH

Para la calibración de este sensor se necesita de soluciones de 4pH, 7pH y 10pH, y seguir los siguientes pasos:

- El circuito acoplador posee dos potenciómetros, el primero es el que está a lado del conector BNC es el Offset. Hay que hacer un corto en la sonda simulando un pH neutro y medir entre los pines Po y G un voltaje de 2.5V. El segundo potenciómetro es para definir el valor límite del sensor de pH.
- Para transformar los valores de voltaje de la salida del sensor a valores de pH como se observa en la Figura 1-3, se debe ingresar la sonda en tres soluciones de pH, crear una recta y mediante la fórmula de la recta obtener la ecuación 1-3 usada en la programación para obtener valores en unidades de pH.

$$y = -5,7x+21,34$$

Ecuación 1-3

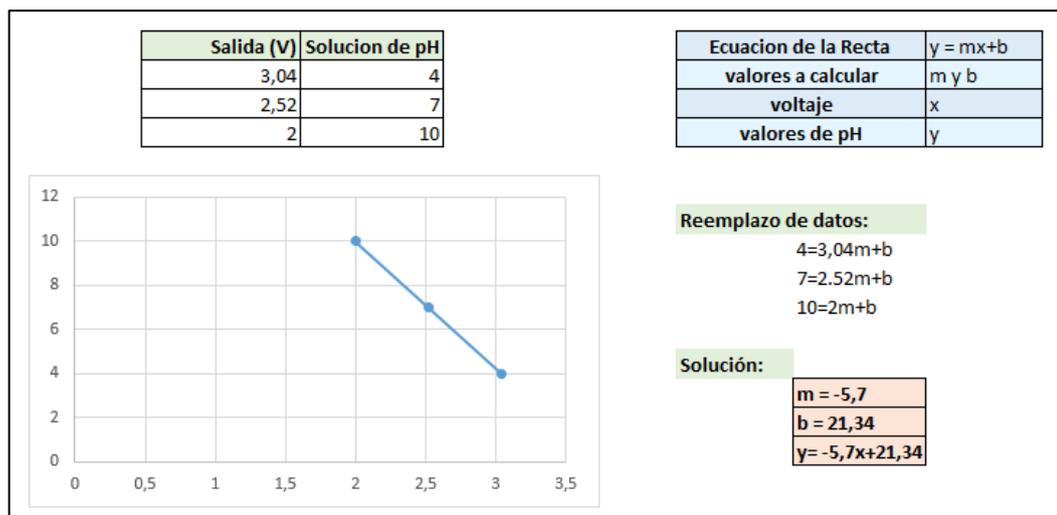


Figura 1-3: Calibración del sensor de pH

Fuente: Montero, Jéssica. 2017

3.1.3. Calibración del sensor de turbidez

Como se observa en la Tabla 1-1 de los Criterios de calidad para aguas para fines recreativos mediante contacto primario se usa la técnica de disco Secchi, que solo genera resultados binarios: se ve o no se ve el disco. Por lo tanto el sensor de turbidez SEN0189 se lo usará en modo digital generando dos salidas: turbidez normal si es menor o igual a 5 NTU y turbidez alta si es mayor a 5 NTU. La calibración se realizó mediante el potenciómetro de la tarjeta acopladora del sensor y con la ayuda de los ingenieros de la Dirección de Gestión Ambiental para determinar el valor máximo de turbidez permitida.

3.2. Pruebas del prototipo del proyecto RMF

Para comprobar el funcionamiento del prototipo, se realizó una comparación de datos entre los medidos con el proyecto y los medidos con equipos tradicionales y pruebas de repetividad de cada uno de los sensores. Además, se comprobó la transmisión y almacenamiento de los datos.

3.2.1. Pruebas de la fuente de alimentación del módulo de muestreo

La duración teórica de la batería solar es aproximadamente 16 horas, pero en la práctica al poner en funcionamiento el prototipo de la red inalámbrica la batería solo dura durante 11 horas y 30 minutos, este tiempo es el que dará energía al módulo durante las horas que no existe luz solar.

3.2.2. Pruebas del módulo de muestreo

Estas pruebas consisten en la comparación de las medidas tomadas por los equipos tradicionales y las medidas tomadas por el módulo de muestreo. Los equipos tradicionales de la Figura 2-3 son los que posee la Dirección de Gestión Ambiental, estos ya tienen más de 4 años de vida y son:

- Medidor de Oxígeno Disuelto Thermo Orion Start A223 que mide el oxígeno disuelto con un error máximo de $\pm 0,1$ mg/l y la temperatura con un error máximo de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.
- Medidor de pH OAKTON pH6+ mide el pH y posee un error de ± 0.01 pH.
- Medidor de Thermo Electron Russell RL060C que mide conductividad y temperatura y posee un error de 1% a gran escala.
- Medidor de turbidez portátil Hach 2100Q mide la turbidez con un error de $\pm 2\%$ a la lectura de luz dispersa de 0 a 1000 NTU.



Figura 2-3: Equipos tradicionales de medición

Fuente: Montero Jéssica. 2017

Para el número de las muestras se toma en cuenta 12 muestras medidas en el Río Puyo en el Dique Fátima (sin contaminación) y 12 muestras medidas en el Río Pindo Grande (con contaminación) como se muestra en la Figura 3-3.



Figura 3-3: Toma de medidas en el Río Puyo y en el Río Pingo Grande

Fuente: Montero Jéssica. 2017

La Tabla 1-3 muestra las medidas de los sensores de oxígeno disuelto (OD) y del sensor de pH. Al analizar a los resultados del oxígeno disuelto, el sensor agrega un error absoluto máximo de +/-0,05 mg/l que es el error máximo propio del sensor del proyecto RMF. En el caso del pH, el error del sensor es +/- 0,1 pH y analizando los resultados de pH el equipo agrega un error absoluto máximo de +/-0,08 por lo tanto no agrega error.

Tabla 1-3: Mediciones realizadas con los sensores de oxígeno disuelto y pH

No. de muestra	Thermo Orion Start A223 (mg/l)	Sensor de OD de RMF (mg/l)	Error absoluto del oxígeno disuelto (mg/l)	OAKTON pH6+ (pH)	Sensor de pH de RMF (pH)	Error absoluto del pH (pH)
1	8,80	8,84	-0,04	7,56	7,50	0,06
2	8,80	8,83	-0,03	7,56	7,51	0,05
3	8,76	8,8	-0,04	7,50	7,47	0,03
4	8,76	8,78	-0,02	7,47	7,51	-0,04
5	8,76	8,78	-0,02	7,47	7,50	-0,03
6	8,76	8,78	-0,02	7,47	7,50	-0,03
7	8,80	8,78	0,02	7,47	7,51	-0,04
8	8,80	8,78	0,02	7,56	7,51	0,05
9	8,78	8,77	0,01	7,56	7,54	0,02
10	8,78	8,78	0	7,53	7,54	-0,01
11	8,75	8,76	-0,01	7,53	7,51	0,02
12	8,75	8,76	-0,01	7,53	7,51	0,02
13	7,95	7,97	-0,02	7,14	7,17	-0,03
14	7,90	7,95	-0,05	7,15	7,17	-0,02
15	7,85	7,89	-0,04	7,16	7,14	0,02
16	7,85	7,88	-0,03	7,11	7,14	-0,03
17	7,70	7,69	0,01	7,12	7,15	-0,03
18	7,70	7,69	0,01	7,13	7,11	0,02
19	7,70	7,68	0,02	7,14	7,09	0,05
20	7,66	7,68	-0,02	7,14	7,09	0,05
21	7,66	7,68	-0,02	7,10	7,09	0,01
22	7,66	7,65	0,01	6,97	7,05	-0,08
23	7,66	7,68	-0,02	6,92	6,87	0,05
24	7,66	7,68	-0,02	6,92	6,87	0,05

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

La Tabla 2-3 muestra las medidas del sensor de temperatura y Turbidez de los equipos tradicionales y del proyecto RMF. Al analizar a los resultados de la temperatura, el sensor agrega un error absoluto máximo de +/- 0,09 °C por lo tanto no agrega más error del propio que da el equipo. En el caso de la turbidez, no existe error pues todos los valores menores a 5 NTU resultaron 0 que significa turbidez normal y los valores altos resultaron 1 que significa turbidez alta.

Tabla 2-3: Mediciones realizadas con los sensores de temperatura y turbidez

No. de muestra	Russell RL060C (°C)	Sensor de Temperatura de RMF (°C)	Error absoluto de la temperatura (°C)	Hach 2100Q (NTU)	Sensor de Turbidez de RMF (NTU)	Error Turbidez (NTU)
1	21,37	21,41	-0,04	2,94	0	0
2	21,37	21,41	-0,04	2,94	0	0
3	21,37	21,41	-0,04	2,86	0	0
4	21,37	21,41	-0,04	2,86	0	0
5	21,40	21,41	-0,01	2,86	0	0
6	21,40	21,41	-0,01	2,86	0	0
7	21,40	21,41	-0,01	2,94	0	0
8	21,43	21,45	-0,02	2,94	0	0
9	21,43	21,45	-0,02	2,94	0	0
10	21,40	21,45	-0,05	2,94	0	0
11	21,40	21,45	-0,05	3,03	0	0
12	21,40	21,45	-0,05	3,03	0	0
13	23,85	23,81	0,04	50,00	1	0
14	23,85	23,87	-0,02	50,0	1	0
15	23,85	23,94	-0,09	50,05	1	0
16	23,85	23,94	-0,09	50,05	1	0
17	23,85	23,94	-0,09	50,11	1	0
18	23,90	23,87	0,03	50,25	1	0
19	23,90	23,81	0,09	50,43	1	0
20	23,90	23,87	0,03	50,67	1	0
21	23,90	23,94	-0,04	50,80	1	0
22	24,00	24,00	0	51,10	1	0
23	24,00	24,00	0	51,10	1	0
24	24,00	24,00	0	51,10	1	0

Realizado por: Jéssica Montero. 2017

3.2.3. Repetitividad del módulo de muestreo

Para realizar la prueba de repetitividad se tienen en cuenta las 15 muestras tomadas durante 5 minutos en iguales condiciones en el Dique Fátima con el proyecto RFM, almacenadas en un archivo en la memoria Flash y enviada a la Cuenta de Google Drive. En la Tabla 3-3 se observa las muestras con la hora que fueron tomadas y los cálculos de: la media, la desviación estándar y el coeficiente de Variación. Estos resultados según (Tareasplus, 2017), los valores de la temperatura son homogéneos con un coeficiente de variación de 0%, mientras las medidas del oxígeno disuelto y pH muestran un coeficiente de variación de 1% que tiene a cero por lo tanto no muestran dispersión.

Tabla 3-3: Repetitividad de los valores del módulo de muestreo del proyecto RMF

No. muestra	Hora	O. Disuelto	pH	Temperatura
1	10:00:20	8,3	7,92	20,12
2	10:00:40	8,3	7,82	20,12
3	10:01:00	8,3	7,82	20,12
4	10:01:20	8,1	7,72	20,12
5	10:01:40	8,2	7,72	20,12
6	10:02:00	8,2	7,92	20,19
7	10:02:20	8,3	7,92	20,19
8	10:02:40	8,3	7,92	20,19
9	10:03:00	8,4	7,92	20,19
10	10:03:20	8,4	7,92	20,25
11	10:03:40	8,3	7,92	20,25
12	10:04:00	8,3	7,92	20,25
13	10:04:20	8,3	7,94	20,19
14	10:04:40	8,3	7,94	20,19
15	10:05:00	8,4	7,93	20,19
Media		8,29	7,88	20,18
Desviación estándar		0,08	0,08	0,05
Coeficiente de Variación		1%	1%	0%

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

3.2.4. Pruebas de la comunicación inalámbrica entre los módulos del RMF

Uno de los pilares importantes del proyecto RMF es la comunicación inalámbrica, pues de esta depende que la recolección de datos sea fiable. Para verificar que los módulos Xbee cumplen su papel y no agregan errores se realizó las siguientes pruebas:

3.2.4.1. Comunicación entre los módulos Xbee

Se realizó una prueba para comprobar que los módulos Xbee poseen comunicación, en la que se pudo verificar que los datos que recoge la tarjeta Arduino son los mismos que recepta el Xbee receptor como se observa en la Figura 4-3. Para esta prueba se usó la herramienta Monitor Serial de Arduino IDE para leer los datos de la tarjeta Arduino y XCTU para leer los datos recibidos por el Xbee receptor.

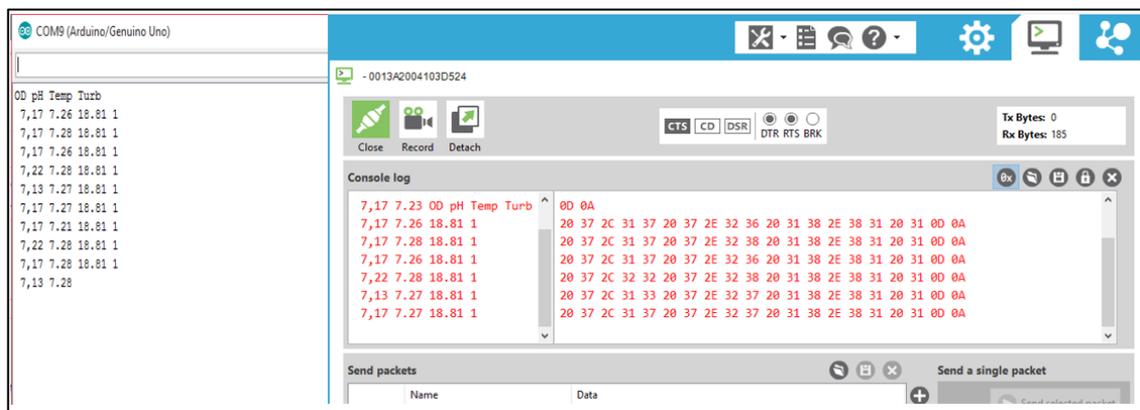


Figura 4-3: Comunicación entre módulos Xbee

Fuente: Montero Jéssica. 2017

3.2.4.2. Comunicación entre el módulo de muestreo y el módulo de recolección de datos

Mediante esta prueba experimental de comunicación entre los módulos del proyecto RMF se verifico que los datos que lee la tarjeta Arduino del módulo de muestreo son los mismos que se muestran en la pantalla LCD de módulo de recolección de datos. Como se observa en la Figura 5-3 se realizó la lectura de la tarjeta Arduino con la herramienta Monitor Serie y se comprueba la recepción correcta de datos mediante una foto a la pantalla LCD.

En el ambiente real en el dique Fátima se comprobó que la trasmisión resultó exitosa a una distancia aproximada de 160 metros que es suficiente para cubrir todas las distancias entre los nodos determinados en la Figura 1-2.

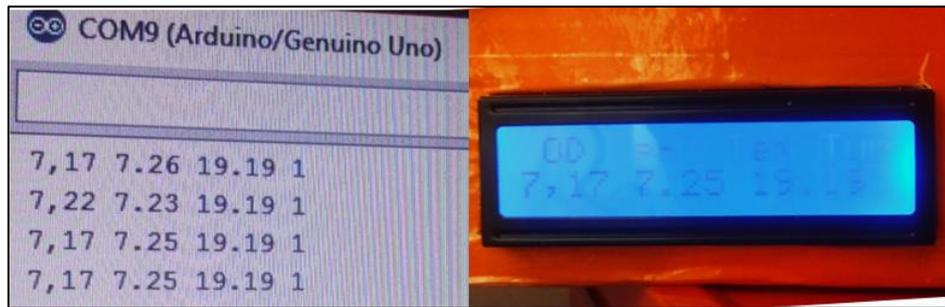


Figura 5-3: Comunicación entre los módulos del prototipo del proyecto RMF

Fuente: Montero Jéssica. 2017

3.2.5. Pruebas de almacenamiento de datos

Después de comprobado la comunicación entre los módulo del proyecto RMF, se evaluó que el almacenamiento de datos es correcto mediante la comparación de los datos mostrados en la Pantalla LCD con los datos guardados en la memoria flash como se muestra en la Figura 6-3. Finalmente, en la Figura 6-3 también se muestra que los mismos datos almacenados en la memoria flash son los que se almacenaron en la cuenta de Google Drive.

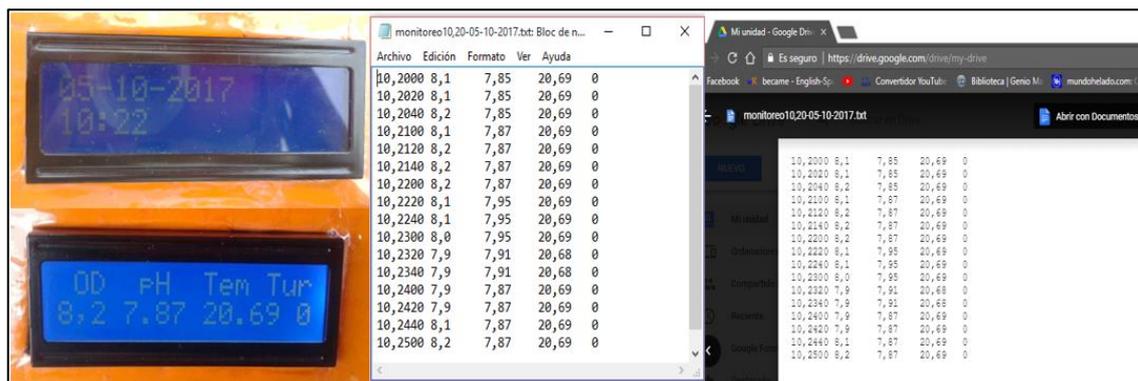


Figura 6-3: Pruebas de almacenamiento de datos del proyecto RMF

Fuente: Montero Jéssica. 2017

3.3. Funcionamiento del prototipo del Proyecto RMF

Después de verificar el funcionamiento de los módulos del proyecto RMF, se procedió a ubicar los módulos en el dique Fátima como muestra la Figura 7-3. El módulo de muestreo se ubicó en la posición del nodo 1 y el módulo de recolección de datos en la posición del nodo central.



Figura 7-3: Ubicación de los módulos del prototipo del proyecto RMF

Fuente: Montero Jéssica. 2017

Para ver el funcionamiento del proyecto se tomó una muestra de datos tomadas durante 5 minutos en la mañana como se muestra en la Tabla 4-3, donde además se muestra los resultados del análisis realizado con la aplicación de usuario final que se muestra en la Figura 8-3.

Tabla 4-3: Datos obtenidos del prototipo del proyecto RMF en el dique Fátima

Día 5 de Octubre									
Hora	OD	%OD	Norma	pH	Norma	Te	Norma	Tu	Norma
10:00:00	7,8	104,278	Aceptable	6,64	Normal	19,69	Normal	0	Normal
10:00:20	7,9	105,615	Aceptable	6,64	Normal	19,69	Normal	0	Normal
10:00:40	7,9	105,615	Aceptable	6,64	Normal	19,69	Normal	0	Normal
10:01:00	7,8	104,278	Aceptable	6,48	Normal	19,69	Normal	0	Normal
10:01:20	7,8	104,278	Aceptable	6,48	Normal	19,69	Normal	0	Normal
10:01:40	7,8	104,278	Aceptable	6,48	Normal	19,69	Normal	0	Normal
10:02:00	7,9	105,615	Aceptable	6,48	Normal	19,69	Normal	0	Normal
10:02:20	7,9	105,615	Aceptable	6,51	Normal	19,69	Normal	0	Normal
10:02:40	7,8	104,278	Aceptable	6,51	Normal	19,69	Normal	0	Normal
10:03:00	7,8	104,278	Aceptable	6,51	Normal	19,18	Normal	0	Normal
10:03:20	7,8	104,278	Aceptable	6,51	Normal	19,18	Normal	0	Normal
10:03:40	7,8	104,278	Aceptable	6,52	Normal	19,18	Normal	0	Normal
10:04:00	7,9	105,615	Aceptable	6,52	Normal	19,18	Normal	0	Normal
10:04:20	7,9	104,278	Aceptable	6,48	Normal	19,69	Normal	0	Normal
10:04:40	7,8	104,278	Aceptable	6,48	Normal	19,69	Normal	0	Normal
10:05:00	7,8	102,941	Aceptable	6,48	Normal	19,69	Normal	0	Normal
Promedio		104,779	Aceptable	6,52	Normal	19,56	Normal	0	Normal

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

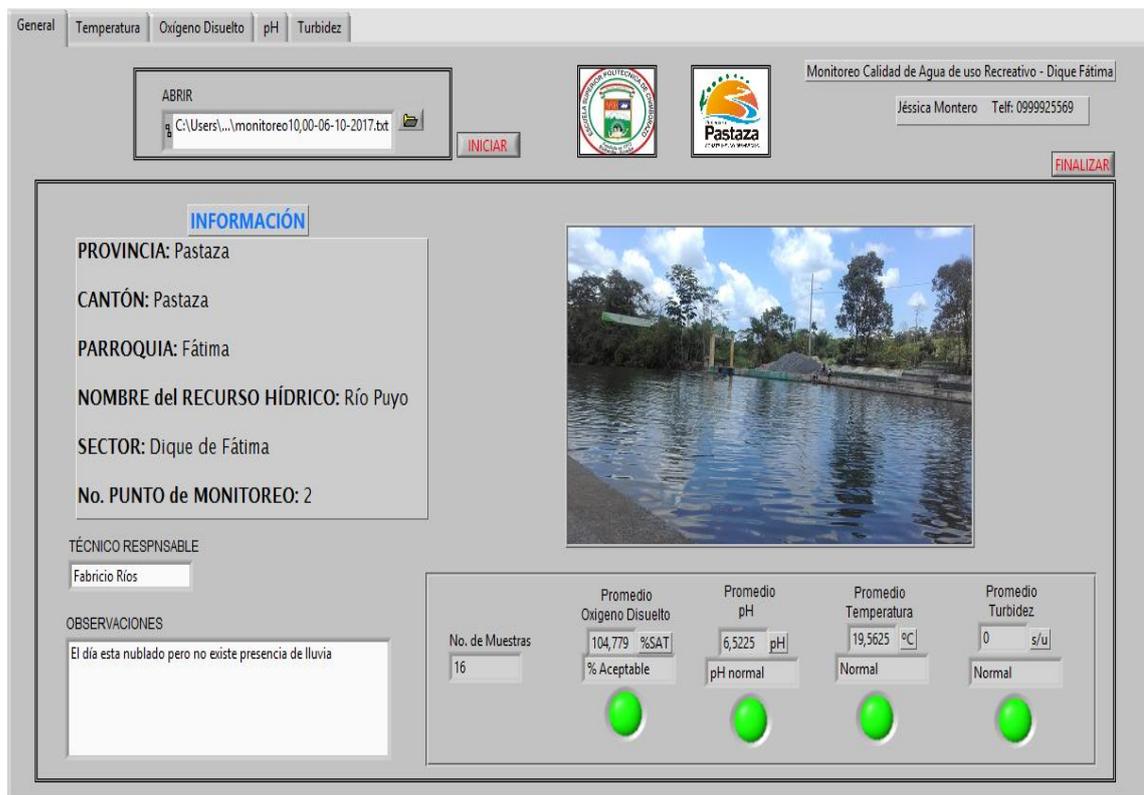


Figura 8-3: Análisis de los datos obtenidos del prototipo del proyecto RMF en el dique Fátima con la aplicación de usuarios

Fuente: Montero Jéssica. 2017

3.4. Análisis económico del proyecto RMF

En la Tabla 5-3 se presenta el análisis económico de la implementación del prototipo del proyecto RMF, donde se incluye el precio y el envío de dos de los sensores adquiridos en tiendas online fuera del país.

Tabla 5-3: Análisis económico del proyecto RMF

Módulos de RMF	Componentes	Cant.	Costo
Módulo de muestreo	Tarjeta Arduino UNO	1	\$32,00
	Shield de Arduino para Xbee	1	\$15,00
	Módulo Xbee	1	\$48,00
	Sensor de OD Dissolved EZO™	1	\$320,45
	Sensor de pH sensor Analítico	1	\$50,00
	Sensor de temperatura DS18B20	1	\$8,00
	Sensor de Turbidez SEN0189	1	\$30,00
	Resistencia	1	\$0,10
	Batería solar	1	\$14,00
	Cables de conexión	1	\$5,00
	Protección de equipos	1	\$5,00
	Costo del módulo de muestreo		
Módulo de recolección de datos	Tarjeta Raspberry Pi 3 Model B	1	\$50,00
	Tarjeta Xbee Explorador	1	\$15,00
	Módulo Xbee	1	\$45,00
	Pantalla LCD 16x2	1	\$5,00
	Cables de conexión	1	\$3,00
	Cargador	1	\$10,00
	Protección de equipos	1	\$3,00
	Costo del módulo de recolección de datos		
Costo total del prototipo del proyecto RMF			\$658,55

Realizado por: Montero Jéssica. 2017

Como se observa en la Tabla 5-3, el módulo de muestreo es el de mayor costo con unos \$527,55 USD debido al costo del sensor de oxígeno disuelto. El costo del módulo de recolección de datos es relativamente económico pues su costo es de \$133,00 USD. La implementación completa de la red de sus tres nodos es necesario tener 3 módulos de muestreo y uno de recolección de datos que sería \$2241,20 USD que equivale al 50 % si la Dirección de Gestión Ambiental si quisieran tener un control permanente del Dique con los equipos que ellos poseen.

CONCLUSIONES

- Se diseñó un prototipo de una red de sensores inalámbricos para monitorizar la calidad de agua para uso recreativo en el Dique Fátima, que consiste en un nodo central y tres nodos de monitorización in situ que miden: oxígeno disuelto, pH, temperatura y turbidez.
- Se definió que la topología de red más adecuada es la Malla con la tecnología inalámbrica Zigbee que permite la configuración de dicha topología.
- Se comprobó mediante las pruebas de funcionamiento del módulo de muestreo, que el error absoluto máximo del sensor de oxígeno disuelto es de $\pm 0,05$ mg/l, del sensor de pH es de $\pm 0,8$ pH y del sensor de temperatura con $\pm 0,09^{\circ}\text{C}$, no agregan errores y por lo tanto que cumplen con las especificaciones técnicas de cada sensor.
- Se determinó que para el sensor de turbidez no es necesario obtener valores en unidades de NTU, por lo tanto el sensor trabaja en modo digital dando como resultado 1 (alto) si la turbidez es mayor a 5 NTU y 0 (bajo) si la turbidez es menor a 5 NTU.
- Se determinó mediante las pruebas de comunicación inalámbrica que el prototipo tuvo un alcance de 160m en línea de vista que es el suficiente para colocar los módulos a las distancias que sepan los nodos según los requerimientos del proyecto RMF.
- Se desarrolló una aplicación de escritorio con la herramienta Labview 2016 para que la Dirección de Gestión Ambiental maneje una base de datos histórica creada con los archivos creados diariamente por la red de sensores inalámbricos.

RECOMENDACIONES

- Diseñar una protección impermeable para los módulos de muestreo de manera que se adapten a los niveles de agua en el dique, ya que la presente investigación no abarca ese aspecto.
- Mejorar el sistema de alimentación del módulo de muestreo, a una fuente de larga duración para evitar los cortes de energía al módulo de muestreo.
- Incorporar un sistema de auto posicionamiento del módulo de muestreo en el río para que al módulo se lo pueda ubicar en otros puntos de manera remota.
- Incorporar un sistema de aviso para alertar a los usuarios del dique cuando algún parámetro de la calidad de agua este fuera del rango permitido.
- Incorporar sensores de otros parámetros como conductividad, caudal y detector de sustancias químicas para ampliar las variables de monitorización del dique.
- Incorporar la posibilidad de que la información obtenida por los sensores se comparta vía WEB para que especialistas analicen los datos y elaboren estudios de contaminación en los ríos.

GLOSARIO

Agua Superficial: Cuerpo de agua sobre la superficie de la tierra.

Agua Dulce: Agua que contiene sales menores a 0,5 UPS (unidad práctica de salinidad).

Contaminación del Agua: Cualquier tipo de alteración física, química o biológica que no es apta para un uso deseado y afecta al ecosistema acuático, personas y al ambiente.

Carga Contaminante: Cantidad de un contaminante agregado a un cuerpo de agua.

Parámetro, Componente o Característica: Variable física, química y biológica, elemento que caracteriza la calidad de agua.

Punto de Muestreo: Lugar para la toma de muestras del agua

Muestra Puntual: Muestra individual tomada en un tiempo y en un lugar.

Monitoreo de la Calidad en Cuerpos de Agua: Seguimiento sistemático con muestreo y toma de datos en intervalos de tiempo, para evaluar los parámetros de la calidad de un cuerpo.

Memoria no volátil ROM: guarda la información aunque se desconecte la fuente de alimentación y se la conoce como memoria de lectura

Memoria volátil RAM: es generalmente usada para los datos y se la conoce como memoria aleatoria.

Espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS): técnica donde una señal va saltando de frecuencia en frecuencia usando un patrón fijo.

Espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS): técnica donde el transmisor modifica los datos en fragmentos para insertarlos en un flujo de datos.

Protocolo de Gestión de Enlace (LMP): se ejecuta al inicio de una comunicación Bluetooth para configurar el enlace inalámbrico, autenticar los dispositivos y negociar el tamaño del paquete.

Protocolo de Descubrimiento de Servicios (SDP): realiza la sincronización entre dispositivos para determina el tipo de dispositivo que se une a la red y servicio que ofrece.

Disco Secchi: herramienta para medicar de turbidez de grandes masas de agua, que consiste en un disco de hasta 30cm de diámetro dividido en 4 cuadrantes de color blanco y negro alternados. Se usa introduciéndolo el disco con ayuda de una cuerda para medir la profundidad de visibilidad del disco.

BIBLIOGRAFÍA

ALIBABA GROUP, *DOS-808F laboratorio electrodo electrodo de oxígeno disuelto A*. [En línea]. 2017 [Consulta: 20 Mayo 2017]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/products/dos-808f-laboratory-dissolved-oxygen-electrode-do-electrode-60215394832.html>

ALIEXPRESS, *PH Medidor de PH Sensor Analógico para Arduino uno R3 Kit Electrónico BRICOLAJE*. [En línea], 2017a.. [Consulta: 20 Mayo 2017]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/Original-DOIT-Professional-Simulate-PH-Simulation-Meter-PH-Sensor-The-Analog-PH-Meter-for-Arduino-UNO/32810186756.html?spm=a219c.search0304.4.8.JUJqZD>

ALIEXPRESS, *Detección de nivel de agua altura del sensor/líquido de detección/profundidad*. [En línea] 2017b. [Consulta: 20 Mayo 2017]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/store/product/Free-shipping-RB-02S048-Water-level-sensor-liquid-height-detection-depth-detection/614095_781105290.html

ARDUINO, *Arduino* [En línea]. 2017. [Consulta: 08 Septiembre 2017]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/>

ATLAS SCIENTIFIC, *Sensor de Oxígeno Disuelto*. [En línea]. 2017. [Consulta: 20 Mayo 2017]. Disponible en: https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/DO_probe.pdf

BLACK, U., *Redes*. Edición 2010. Madrid - España: Ediciones ANAYA Multimedia (Grupo ANAYA, S.A), 2010, pp. 153-160.

BRINCOGEEK, *Sensor analógico de pH*. [En línea]. 2017. [Consulta: 20 Mayo 2017]. Disponible en: <http://tienda.bricogeeek.com/home/581-sensor-analogico-de-ph.html>

CABEZAS, L. & GONZÁLEZ, F., *Redes Inalámbrica*. Madrid - España: ANAYA MULTIMEDIA, 2010 pp. 45-57, 295-296.

CAMPBELL SCIENTIFIC, *OBS300 Sensor de turbidez*. [En línea]. 2017. [Consulta: 31 Mayo 2017]. Disponible en: <https://www.campbellsci.es/obs300>

DFROBOT ELECTRONIC, *Turbidity sensor SKU: SEN0189*. [En línea]. 2017. [Consulta: 31 Mayo 2017]. Disponible en: https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Turbidity_sensor_SKU:_SEN0189

DIGI INTERNATIONAL INC, *XCTU Configuration and Test Utility Software*. [En línea]. 2017. [Consulta: 20 Junio 2017]. Disponible en: <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90001458-13.pdf>

DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL, *Mecanismos e Instrumentos para el monitoreo de la cantidad y calidad del agua de los ríos Pindo Grande y Charaguayacu para el aprovechamiento de los recursos naturales del proyecto Ecoturístico La Moravia*. 2016, Puyo-Pastaza.

DIRECT INDUSTRY, *Sensor de turbidez Aztec ATS430*. [En línea]. 2017. [Consulta: 31 Mayo 2017]. Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/abb-measurement-analytics/product-56271-1829796.html>

ENDRESS+HAUSER INC, *Dissolved oxygen sensor Oxymax COS61*. [En línea]. 2017. [20 Mayo 2017]. Disponible en: <https://www.us.endress.com/en/Field-instruments-overview/liquid-analysis-product-overview/oxygen-optical-sensor-cos61>

FERNÁNDEZ, R. et. al., *Redes Inalámbricas de Sensores: Teoría y Aplicación Práctica*. 2009. RIOJA: Univerddidad de la Rioja. Servicio de Publicaciones. pp. 18-25

FRANCO, E., *Tipos de sensores*. [En línea] 2013. [Consulta: 06 Septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.eafranco.com/docencia/instrumentacion/files/06/Diapositivas06.pdf>

GÓMEZ, J. A., *Redes Locales*. Primera ed. Madrid-España: 2011.Editorial Editex.pp.170

HACEDORES, *¿Qué tarjeta de desarrollo elegir?*. [En línea] 2014. [Consulta: 22 Mayo 2017]. Disponible en: <http://hacedores.com/que-tarjeta-de-desarrollo-elegir-parte-1/>

HÄMÄLÄINEN, M. & IINATTI, J., *Wireless UWB Body Area Networks*, 2014. Londres-Inglaterra: Elsevier Ltd. pp.6.

HUIDOBRO MAYA, J. M., *Telecomunicaciones Tecnologías, redes y servicios*. Bogotá-Colombia: 2011. Ediciones de la U. pp.192, 307

LIBELIUM, *Waspnote*. [En línea] 2016. [Consulta: 09 Septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.libelium.com/products/waspnote/>

LONDOÑO CARVAJAL, A., GIRALDO GÓMEZ, G. I. & GUTIÉRREZ GALLEGU, Á. A., *Métodos Analíticos para la Evaluación de la Calidad Fisicoquímica del Agua*. Bogotá - Colombia: 2010, Blanecolor Ltda. pp. 43-58

MAE, *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua*. 2014.

MAXIM INTEGRATED, *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. [En línea] 2017. [Consulta: 20 Mayo 2017]. Disponible en: <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html>

MCI ELECTRONICS, *Xbee*. [En línea]. 2017. [Consulta: 20 Mayo 2017]. Disponible en: <http://xbee.cl/>

PERAHIA, E. & STACEY, R., *Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac*. Segunda ed. Cambridge- : 2013.Cambridge University Press.

PRESS, J., *DO EZO Datasheet*. [En línea] 2017a. [Consulta: 20 Mayo 2017] Disponible en: https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_circuit/DO_EZO_Datasheet.pdf

PRESS, J., *pH EZO Datasheet*. [En línea] 2017b. [Consulta: 20 Mayo 2017]. Disponible en: https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_circuit/pH_EZO_datasheet.pdf

RASPBERRY PI FOUNDATION, *Raspberry Pi*. [En línea] 2017. [Consulta: 10 Mayo 2017]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/>

REVOLUTION EDUCATION, *ALPHANUMERIC LCD DISPLAY (16 X 2)*. [En línea] 2014. [Consulta: 19 Septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.picaxe.com/docs/led008.pdf>

SHENZHEN HAC TELECOM TECHNOLOGY, *HAC-LBee V3.1 2.4G ZigBee Modules*. [En línea] 2013. [Consulta: 20 Mayo 2017]. Disponible en: <http://www.rf-module-china.com/products/zigbee-modules/HAC-LBee-V3-1-2-4G-ZigBee-Modules.html>

TORRES ANDAGANA, A. C. & CHÁVEZ SUÁREZ, T. R., *Desarrollo de una red de sensores inalámbrica sustentable mediante el protocolo IEEE 802.15.4 para determinar la calidad de agua en Pinlo*. (tesis) (pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riobamba- Ecuador. 2015.

TOULSON, R. & WILMSHURST, T., *Fast and Effective Embedded Systems Design Applying the ARM mbed*. Segunda ed. 2016. Cambridge-Inglaterra: Elsevier.

VEGETRONIX, *Turn any Analog Sensor into an SDI-12 Compliant Sensor*. [En línea] 2017. [Consulta: 20 Mayo 2017]. Disponible en: <http://www.vegetronix.com/Products/SDI-12-Engine/>

VERNIER SOFTWARE & TECHNOLOGY CALIPER LOGO, *Dissolved Oxygen*. [En línea] 2017. [Consulta: 30 Mayo 2017] Disponible en: https://www.vernier.com/experiments/wqv/5/dissolved_oxygen/

VILLALBA, Á., *Aplicacion de una red inalámbrica de sensores para la deteccion de presencia y conteo*. Sevilla - España. 2015.

WILSON, S. K., WILSON, S. & BIGLIERI, E., *Academic Press Library in Mobile and Wireless Communications-Transmission Techniques for Digital Communications*. Primera ed. London-Inglaterra: 2016, Elsevier.

ANEXOS

ANEXO A: Hojas técnicas de los sensores del módulo de muestreo

- SENSOR DE OXÍGENO DISUELTO -



Dissolved Oxygen Probe

Reads Dissolved Oxygen

Range 0 – 35+ mg/L

Response time ~0.3 mg/L/per sec

Max pressure 100 PSI

Temperature range °C 1 – 50 °C

Internal temperature sensor No

Time before recalibration ~1 Year

Life expectancy 5 Years +

Maintenance ~18 Months



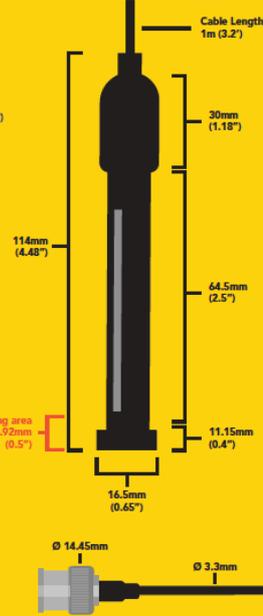

Specifications

Max depth	60m (197 ft)
Cable length	1 meter
Weight	52 grams
Speed of response	~0.3 mg/L/per sec
Dimensions	16.5mm x 114mm (0.5" x 4.48")
BNC connector	Yes
Sterilization	Chemical only

Typical Applications

- Standard Lab use
- Field use
- Hydroponics
- Fish keeping
- Wine making
- Food Safe
- Environmental monitoring

This Dissolved Oxygen probe can be **fully submerged** in fresh or salt water, up to the BNC connector **indefinitely**.



Dimensions: Cable Length 1m (3.2'), 30mm (1.18"), 114mm (4.48"), 64.5mm (2.5"), 11.15mm (0.4"), 16.5mm (0.65"), 13.92mm (0.5"), Ø 14.45mm, Ø 3.3mm

2 Copyright © Atlas Scientific LLC 



Dissolved Oxygen EZO™

Circuit

Reads Dissolved Oxygen

Range 0.01 – 35.99 mg/L
0.1 – 100.0 % saturation

Accuracy +/- 0.05 mg/L

Max rate 1 reading per sec

Supported probes Any galvanic probe

Calibration 1 or 2 point

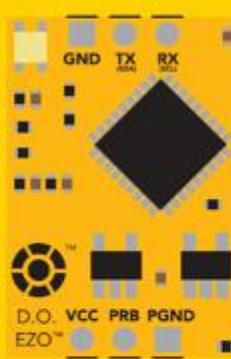
Temperature, salinity and pressure compensation Yes

Data protocol UART & I²C

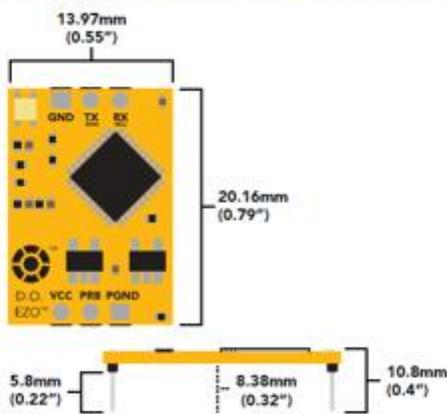
Default I²C address 97 (0x61)

Operating voltage 3.3V – 5V

Data format ASCII




EZO™ circuit dimensions



Dimensions: 13.97mm (0.55"), 20.16mm (0.79"), 5.8mm (0.22"), 8.38mm (0.32"), 10.8mm (0.4")

Power consumption

LED	MAX	STANDBY	SLEEP
5V ON	13.3 mA	13.1 mA	0.68 mA
5V OFF	12.7 mA	12.7 mA	-
3.3V ON	12.1 mA	12 mA	0.3 mA
3.3V OFF	11.9 mA	11.9 mA	-

Absolute max ratings

Parameter	MIN	TYP	MAX
Storage temperature (EZO™ D.O.)	-65 °C	-	125 °C
Operational temperature (EZO™ D.O.)	-40 °C	25 °C	85 °C
VCC	1.3V	5V	5.5V

4 Copyright © Atlas Scientific LLC 

UART mode

Settings that are retained if power is cut

- Baud rate
- Calibration
- Continuous mode
- Device name
- Enable/disable parameters
- Enable/disable response codes
- Hardware switch to PC mode
- LED control
- Protocol lock
- Software switch to PC mode

Settings that are NOT retained if power is cut

- Find
- Pressure compensation
- Salinity compensation
- Sleep mode
- Temperature compensation



UART mode

8 data bits no parity
1 stop bit no flow control

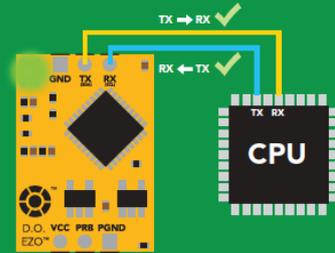
Baud 300
1,200
2,400
9,600 default
19,200
38,400
57,600
115,200

RX Data In

TX Data out

Vcc 3.3V – 5.5V

0V VCC 0V



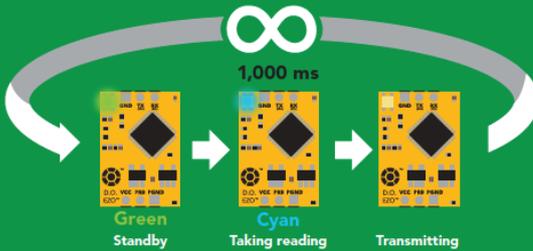
Data format

Reading	D.O.	Data type	floating point
Units	mg/L & (% sat) <small>when enabled</small>	Decimal places	mg/L = 2 % sat = 1
Encoding	ASCII	Smallest string	4 characters
Format	string <small>(CSV string when % sat is enabled)</small>	Largest string	16 characters
Terminator	carriage return		

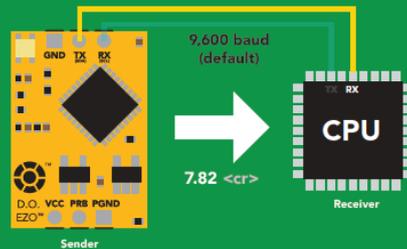
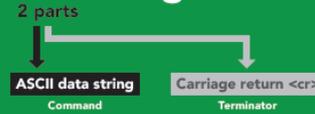


Default state

Mode	UART
Baud	9,600
Readings	continuous
Speed	1 reading per second
Readings without probe	18.17
Temperature compensation	20 °C
Salinity compensation	0 (Fresh water)
Pressure compensation	101.3 kPa (Sea level)
LED	on



Receiving data from device



Advanced

ASCII: **7 . 8 2 <cr>**
Hex: **37 2E 38 32 0D**
Dec: **55 46 56 50 13**



Find

Command syntax

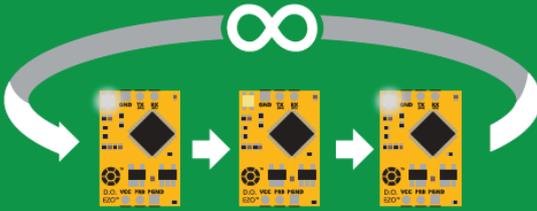
This command will disable continuous mode. Send any character or command to terminate find.

Find <cr> LED rapidly blinks white, used to help find device*

*This command is only available for firmware version 2.10 and above.

Example Response

Find <cr> *OK <cr>



Continuous reading mode

Command syntax

C,1 <cr> enable continuous readings once per second **default**

C,n <cr> continuous readings every n seconds (n = 2 to 99 sec)*

C,0 <cr> disable continuous readings

C,? <cr> continuous reading mode on/off?

*This command is only available for firmware version 2.10 and above.

Example Response

C,1 <cr> *OK <cr>
DO (1 sec) <cr>
DO (2 sec) <cr>
DO (3 sec) <cr>

C,30 <cr> *OK <cr>
DO (30 sec) <cr>
DO (60 sec) <cr>
DO (90 sec) <cr>

C,0 <cr> *OK <cr>

C,? <cr> ?C,1 <cr> or ?C,0 <cr> or ?C,30 <cr>
*OK <cr>

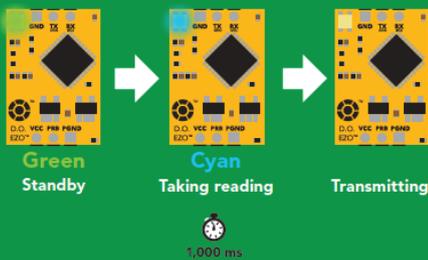
Single reading mode

Command syntax

R <cr> takes single reading

Example Response

R <cr> 7.82 <cr>
*OK <cr>



Calibration

Command syntax

The EZO™ Dissolved Oxygen circuit uses single and/or two point calibration

Cal <cr> calibrate to atmospheric oxygen levels

Cal,0 <cr> calibrate device to 0 dissolved oxygen

Cal,clear <cr> delete calibration data

Cal,? <cr> device calibrated?

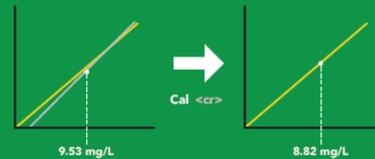
Example Response

Cal <cr> *OK <cr>

Cal,0 <cr> *OK <cr>

Cal,clear <cr> *OK <cr>

Cal,? <cr> ?Cal,0 <cr> or ?Cal,1 <cr> or ?Cal,2 <cr>
single point two point
*OK <cr>



- SENSOR DE TEMPERATURA -

DS18B20

**Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer**

General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

Ordering Information appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

Benefits and Features

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
 - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-57°F to +257°F)
 - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +55°C
 - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits (±0.25°C to ±0.0625°C)
 - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multicore Capability
 - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Configurable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 5-Pin SO (150 mils), 8-Pin µSOP and 3-Pin TO-92 Packages

Pin Configurations

DS18B20

**Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer**

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground: -0.5V to +6.0V
Operating Temperature Range: -55°C to +125°C
Storage Temperature Range: -65°C to +125°C
Solder Temperature: Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 Specification

DC Electrical Characteristics
(-55°C to +125°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V _{DD}	Local power (Note 1)			+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V _{PULL}	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power (Notes 1, 2)	+3.0		V _{DD}	V
Thermometer Error	±t _{ERR}	-10°C to +55°C (Note 3)			±0.5	°C
Input Logic-Low	V _{IL}	-55°C to +125°C (Notes 1, 4, 5)			±2	
		Local power (Notes 1, 6)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V _{IH}	Parasite power (Notes 1, 6)	+2.2		The lower of 5.5 or V _{DD} + 0.3	V
		Local power (Notes 7, 8)	+3.0		V _{DD} + 0.3	V
Sink Current	I _S	V _{DD} = 0.4V		4.0	750	mA
Standby Current	I _{SD}	(Notes 7, 8)		150	1000	µA
Active Current	I _{DD}	V _{DD} = 5V (Note 9)		1	1.5	mA
		(Note 10)		5		µA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.
Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PULL}. In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: V_{IH,ACTUAL} = V_{PULL,IDEAL} + V_{TRANSISTOR}.
Note 3: See typical performance curve in Figure 1.
Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.
Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{IH,MAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.
Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.
Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.
Note 8: To minimize I_{DD}, DQ should be within the following ranges: GND ≤ DQ ≤ GND + 0.3V or V_{DD} - 0.3V ≤ DQ ≤ V_{DD}.
Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.
Note 10: DQ pin is high impedance.
Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with V_{DD} = 5.5V.

Figure 2. Timing Diagrams

DS18B20

**Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer**

AC Electrical Characteristics—NV Memory
(-55°C to +125°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t _{WR}			2	10	ms
EEPROM Writes	N _{EEPROM}	-55°C to +55°C		50k		writes
EEPROM Data Retention	t _{RETR}	-55°C to +55°C		10		years

AC Electrical Characteristics
(-55°C to +125°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Conversion Time	t _{CONV}	9-bit resolution			93.75	ms	
		10-bit resolution	(Note 12)			187.5	
		11-bit resolution				375	
		12-bit resolution				750	
Time to Strong Pullup On	t _{SPON}	Start convert T command issued			10	µs	
Time Slot	t _{SLT}	(Note 12)		60	120	µs	
Recovery Time	t _{REC}	(Note 12)		1		µs	
Write 0 Low Time	t _{LOW0}	(Note 12)		60	120	µs	
Write 1 Low Time	t _{LOW1}	(Note 12)		1	15	µs	
Read Data Valid	t _{RDV}	(Note 12)		15		µs	
Reset Time High	t _{RSTH}	(Notes 12, 13)		480		µs	
Reset Time Low	t _{RSTL}	(Notes 12, 13)		480		µs	
Presence-Detect High	t _{PDH}	(Note 12)		15	60	µs	
Presence-Detect Low	t _{PDL}	(Note 12)		60	340	µs	
Capacitance	C _{INPUT}			25		pF	

Note 12: See the timing diagrams in Figure 2.
Note 13: Under parasite power, if t_{RSTH} > 360µs, a power-on reset can occur.

Figure 1. Typical Performance Curve

DS18B20

**Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer**

Pin Description

SO	µSOP	TO-92	NAME	FUNCTION
1, 2, 6, 7, 8	2, 3, 5, 6, 7	—	N.C.	No Connection
3	8	3	V _{DD}	Optional V _{DD} . V _{DD} must be grounded for operation in parasite power mode.
4	1	2	DQ	Data Input/Output. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see the Powering the DS18B20 section).
5	4	1	GND	Ground

DS18B20

**Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer**

AC Electrical Characteristics—NV Memory
(-55°C to +125°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t _{WR}			2	10	ms
EEPROM Writes	N _{EEPROM}	-55°C to +55°C		50k		writes
EEPROM Data Retention	t _{RETR}	-55°C to +55°C		10		years

AC Electrical Characteristics
(-55°C to +125°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Conversion Time	t _{CONV}	9-bit resolution			93.75	ms	
		10-bit resolution	(Note 12)			187.5	
		11-bit resolution				375	
		12-bit resolution				750	
Time to Strong Pullup On	t _{SPON}	Start convert T command issued			10	µs	
Time Slot	t _{SLT}	(Note 12)		60	120	µs	
Recovery Time	t _{REC}	(Note 12)		1		µs	
Write 0 Low Time	t _{LOW0}	(Note 12)		60	120	µs	
Write 1 Low Time	t _{LOW1}	(Note 12)		1	15	µs	
Read Data Valid	t _{RDV}	(Note 12)		15		µs	
Reset Time High	t _{RSTH}	(Notes 12, 13)		480		µs	
Reset Time Low	t _{RSTL}	(Notes 12, 13)		480		µs	
Presence-Detect High	t _{PDH}	(Note 12)		15	60	µs	
Presence-Detect Low	t _{PDL}	(Note 12)		60	340	µs	
Capacitance	C _{INPUT}			25		pF	

Note 12: See the timing diagrams in Figure 2.
Note 13: Under parasite power, if t_{RSTH} > 360µs, a power-on reset can occur.

Figure 1. Typical Performance Curve

DS18B20

**Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer**

Pin Description

SO	µSOP	TO-92	NAME	FUNCTION
1, 2, 6, 7, 8	2, 3, 5, 6, 7	—	N.C.	No Connection
3	8	3	V _{DD}	Optional V _{DD} . V _{DD} must be grounded for operation in parasite power mode.
4	1	2	DQ	Data Input/Output. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see the Powering the DS18B20 section).
5	4	1	GND	Ground

DS18B20

Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer

Overview

Figure 3 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in the Pin Description table. The 64-bit ROM stores the device's unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers (T_U and T_L) and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The T_U, T_L, and configuration registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18B20 uses Maxim's exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device's unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and "time slots," is covered in the [1-Wire Bus System](#) section.

Another feature of the DS18B20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor through the

DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor (C_{INT}), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as "parasite power." As an alternative, the DS18B20 may also be powered by an external supply on V_{CC}.

Operation—Measuring Temperature

The core functionality of the DS18B20 is its direct-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit. The DS18B20 powers up in a low-power idle state. To initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T₁ command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue "read data" (see the [1-Wire Bus System](#) section) after the Convert T₁ command and the DS18B20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the [Powering the DS18B20](#) section.

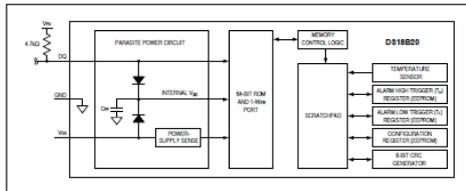


Figure 3. DS18B20 Block Diagram

www.maximintegrated.com

Maxim Integrated | 5

DS18B20

Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer

The DS18B20 output temperature data is calibrated in degrees Celsius; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see [Figure 4](#)). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1, and 0 are undefined. [Table 1](#) gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

Operation—Alarm Signaling

After the DS18B20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T_U and T_L registers (see [Figure 5](#)). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. The T_U and T_L registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T_U and T_L can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the [Memory](#) section. Only bits 11 through 4 of the temperature register are used in the T_U and T_L comparison since T_U and T_L are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than

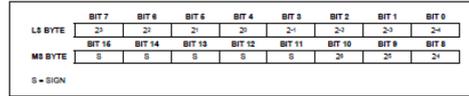


Figure 4. Temperature Register Format

Table 1. Temperature/Data Relationship

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (BINARY)	DIGITAL OUTPUT (HEX)
+125	0000 0111 1101 0000	07DCh
+87	0000 0101 0101 0000	059Bh
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+6.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-6.5	1111 1111 1111 1000	FFFBh
-10.125	1111 1111 0101 1110	FF5Bh
-25.0625	1111 1100 0110 1111	FE6Bh
-85	1111 1100 1001 0000	F08Bh

*The power-on reset value of the temperature register is +85°C.

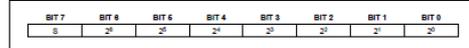


Figure 5. T_U and T_L Register Format

www.maximintegrated.com

Maxim Integrated | 6

- SENSOR DE PH -

PH composite electrode manual

A. Purpose

The electrode is made of PH glass electrode and a silver/silver chloride reference electrode composition, the PH measuring elements which is used to measure water solution PH value.

B. Type and main technical parameters

Electrode type	range	temper ature	Zero point	Alkali deviation	PTS	Response time	Internal resistance	Repeat ability	Noise
	PH	°C	PH	mV		min	MΩ		mV
65-1	0-14	0-80	7 ± 1	<15	>98	<2	<250	<0.017	
BX-5	0-14	0-80	7X ± 11	<15	>98	<2	<250	<0.017	
E-201	0-14	0-80	7 ± 0.5	<15	>98	<2	<250	<0.017	<0.5
E-201-C	0-14	0-80	7X ± 0.5	<15	>98	<2	<250	<0.017	<0.5
95-1	0-14	0-80	7X ± 0.5	<15	>98	<2	<250	<0.017	<0.5
E-900	0-14	0-80	7X ± 0.5	<15	>98	<2	<250	<0.017	<0.5

C. Precautions

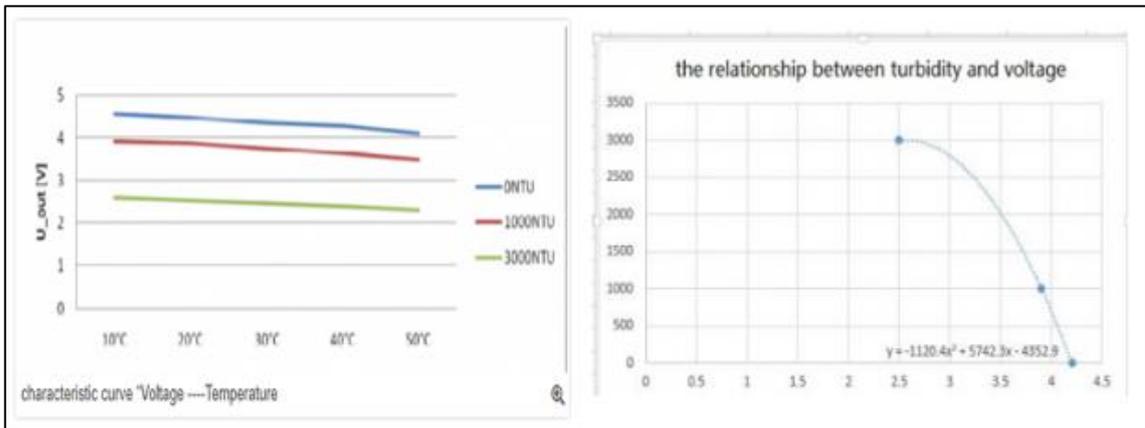
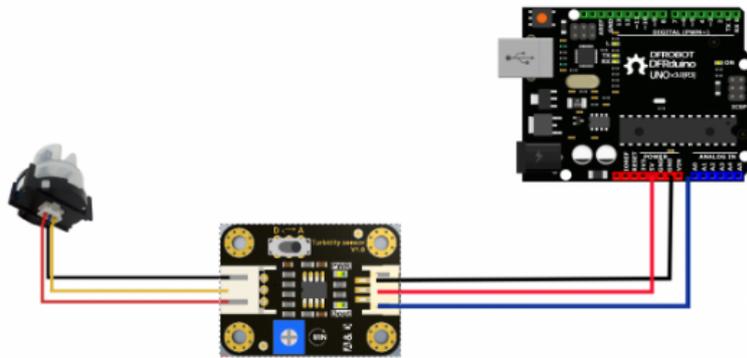
1. The electrode used for the first or long set without re-use, the electrode bulb and the sand core, immersed in the 3NKCL solution activated eight hours.
2. The electrode plug should be kept clean and dry.
3. Electrode reference solution is the 3NKCL solution.
4. Measurement should be avoided staggered pollution between solutions, so as not to affect the accuracy of measurement.
5. Electrode blub or sand core is defiled which will make PTS decline, slow response. So, it should be based on the characteristics of the pollutant, adapted to the cleaning solution, the electrode performance recovery.
6. The electrode should not be long-term immersed in acid chloride solution.
7. Electrode when in use, the ceramic sand core and liquid outlet rubber ring should be removed, in order to make salt bridge solution to maintain a certain velocity.

- SENSOR DE TURBIDEZ -

Specification

- Operating Voltage: 5V DC
- Operating Current: 40mA (MAX)
- Response Time : <500ms
- Insulation Resistance: 100M (Min)
- Output Method:
 - Analog output: 0-4.5V
 - Digital Output: High/Low level signal (you can adjust the threshold value by adjusting the potentiometer)
- Operating Temperature: 5°C~90°C
- Storage Temperature: -10°C~90°C
- Weight: 30g
- Adapter Dimensions: 38mm*28mm*10mm/1.5inches *1.1inches*0.4inches

Connection Diagram



ANEXO B: Hojas técnicas de los Módulos Xbee

Experiment | 4

Use an XBee Module for Remote Control

REQUIREMENTS

- 2 XBee modules
- 2 XBee adapters
- 1 USB-to-XBee adapter
- 1 USB cable—type-A to mini-B
- 1 3.3-volt DC power supply
- 1 LED
- 1 220-ohm, 1/4-watt resistor, 10% (red-brown-red)
- 1 Solderless breadboard
- Digi X-CTU software running on a Windows PC, with an open USB port

INTRODUCTION

In Experiment 3 you learned how a transmitter module (XMTR) could send information about the state of a digital input to a receiver module (RCVR). The received information shown in the X-CTU Terminal let you determine the logic state of the input pin at the XMTR module. In this experiment you will connect an LED to the RCVR module and control it from the XMTR module. I recommend you perform Experiment 3 before you start this experiment.

Step 1. You will use the same experimental setup used in Experiment 3 for the XMTR module, as shown in Figure 4.1. This figure shows the placement of a jumper wire at the ADO-DIO0 input so you can place a logic-0 or a logic-1 signal on the ADO-DIO0 pin.

Step 2. In this experiment you will configure the RCVR module so its ADO-DIO0 digital output (pin 20) controls an LED. Recall an ADx-DIOx pin can operate as a digital input or output, or as an analog input, depending how you configure it. To set the ADO-DIO0 pin on the RCVR as an output, you must modify the settings in the RCVR module. If you just completed Experiment 3 you should have the RCVR module plugged into the USB-to-XBee adapter and the adapter should connect to a USB port on your PC.

25

The Hands-on Xbee Lab Manual.
© 2012 Elsevier Inc. All rights reserved.

26 Use an XBee Module for Remote Control

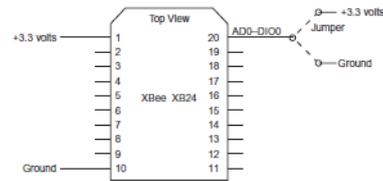


Figure 4.1 Connections for the XMTR XBee adapter in a solderless breadboard for a remote-control experiment.

- If you just completed Experiment 3 and have not made any changes to the RCVR Modem Configuration information, please go to Step 3.
 - If you have changed any of the RCVR Modem Configuration information or don't know its configuration, you should reset your RCVR module to its default Modem Configuration. To do so, click on the Restore button and wait for the message: "Restore Defaults...complete" in the bottom X-CTU window. Next, click on Read so you can see the default Modem Configuration settings retrieved from your RCVR module.
- If you have problems and cannot get the XBee modules to work properly, download the EX4_RCVR.pro file that provides a ready-to-use configuration for the receiver.

Step 3. Use the X-CTU program to make following four changes to the Modem Configuration settings for the RCVR module:

Networking & Security:
 DL – Destination Address Low = 5678
 MY – 16-Bit Source Address = 1234
 I/O Settings:
 DO – DIO0 Configuration = 5 – DO High
 I/O Line Passing:
 IA – I/O Input Address = FFFF

You must click on the plus sign (+) to the right of the I/O Line Passing folder to open it and see the IA – I/O Input Address configuration. When you move the cursor to, and then click on, the IA – I/O Input Address line, to the right you will see a button labeled Set. Click on it. The Set button opens a text window that shows the I/O Input Address information. Click the Clear button, type in FFFF, and click OK. You should now see the I/O Input Address set to FFFF. This setting lets the receiver accept all I/O-data packets from a transmitter.

The DO – DIO0 Configuration of "5 – DO High" places the ADO-DIO0 pin (pin 20) at the receiver module in a "high," or logic-1 state unless a command from a remote module changes its state to a logic 0.

Introduction 27

Step 4. Click the Write button to load the new configuration into your RCVR module.

Step 5. If you have not changed or reset the configuration of your XMTR module, please proceed to Step 6. If you have changed, reset, or don't know the settings for your XMTR module, go through the following sequence:

Disconnect the USB-to-XBee adapter from the cable, remove the RCVR module from the adapter, and set it aside. Place the XMTR module in the USB-to-XBee adapter and reconnect it to the USB cable. Open the X-CTU Modem Configuration window and click the Restore button. After you see the message "Restore Defaults...complete" click the Read button. Now change the following configurations shown below for the XMTR module:

DL – Destination Address Low = 1234
 MY – 16-Bit Source Address = 5678
 DO – DIO0 Configuration = 3-DI
 IT – Samples before TX = 02
 IR – Sample Rate = 3EB

After you recheck these settings, click on Write to load them into your XMTR module. Disconnect the USB-to-XBee adapter from the cable and remove the XMTR module from the adapter. Return the XMTR module to its adapter socket in your breadboard. Replace the RCVR module in the USB-to-XBee adapter and reconnect it to the USB cable.

If you have problems and cannot get the XBee modules to work properly, download the EX4_XMTR.pro file that provides a ready-to-use configuration for the transmitter.

Step 6. The XMTR module requires a wire on the breadboard between pin 20 (ADO-DIO0) and +3.3 volts, as shown earlier in Figure 4.1. This wire provides a logic-1 or a logic-0 input for the DIO0 input pin. If your XMTR module does not have this connection, add it now.

Click on the Terminal tab in the X-CTU window, clear it, and then apply power to your XMTR module. You should see a string of bytes, such as that shown below, represented as hexadecimal values:

```
7E 00 0C 83 56 78 30 00 02 00 01 00 01 00 01 79
```

As you learned in Experiment 3, these bytes represent:

7E = start of transmission, a preset value (1 byte)
 00 0C = a count of the following bytes in transmission (2 bytes)
 83 = code for 16-bit module addressing, preset value (1 byte)
 5678 = 16-bit address (2 bytes)
 30 = signal strength of wireless signal at receiver (1 byte)
 00 = status byte
 02 = number of samples (1 byte)
 00 01 = Active-Signal Bytes identify active I/O pins (2 bytes)
 00 01 = first of two samples for digital I/O pins (2 bytes)
 00 01 = second of two samples for digital I/O pins (2 bytes)
 79 = calculated checksum (1 byte), not included in byte count

28 Use an XBee Module for Remote Control

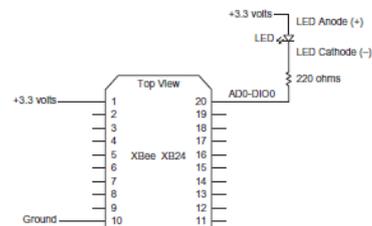


Figure 4.2 This diagram shows power and ground as well as an LED and resistor connected to an XBee adapter socket.

The two samples indicate a logic-1 signal at the DIO0 input on the XMTR module. Your signal strength and checksum values will likely differ from those shown here.

Step 7. Turn off power to the XMTR module. If you have not plugged a second XBee adapter into the solderless breadboard, choose an open section about 3 inches (7.5 cm) away from the XMTR module. Place the second XBee adapter so it orients the XBee socket in the same direction as the adapter already in use for the XMTR module. That means both adapters should have XBee pins 1 through 10 face the same side of your solderless breadboard. This orientation helps avoid confusion over pin numbers and locations. Insert the second, empty XBee adapter in your breadboard.

The second XBee adapter requires +3.3 volts connected to pin 1 (VCC) and ground connected to pin 10 as shown on the left side of the XBee module in Figure 4.2. Make these connections now.

Step 8. On your solderless breadboard, connect one end of a 220-ohm resistor (red-red-brown) to pin 20, ADO-DIO0, on the unoccupied XBee adapter. Connect the other end to an unused column of contacts on your breadboard. This column should have nothing else connected to it.

Connect a light-emitting diode (LED) between the free end of the 220-ohm resistor and power. An LED provides two ways to identify its proper connection. The anode (+) has the longer of the two leads. Most individual LEDs also have a flat side on their retaining ring, as shown in Figure 4.3. The flat side indicates the cathode (–) lead.

Next you will connect the LED's anode (+) lead to the +3.3-volt bus on your breadboard and then connect the cathode (–) lead to the free end of the 220-ohm resistor in the otherwise-unconnected column of contacts. When the

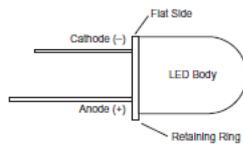


Figure 4.3 Electrical-lead identification for a discrete LED.

DIO0 output of an XBee module in this adapter becomes a logic 0, or ground, current will flow through the LED and resistor and into the DIO0 pin and the LED will turn on. When the DIO0 pin becomes a logic 1, it produces a voltage close to 3.3 volts, so no current can flow and the LED will turn off.

Step 9. Disconnect the USB-to-XBee adapter from the USB cable and remove the RCVR module from the adapter. Ensure you have turned off the 3.3-volt supply to your breadboard. Check the RCVR module for proper orientation with the XBee outline on the unoccupied adapter board and plug in the receiver module.

Step 10. Apply power to your breadboard to turn on the XMTR and RCVR modules. Note the state of the LED. Is the LED on or off?

If you have connected pin 20 (ADO-DIO0) on the XMTR to +3.3 volts, the LED should not light. Move the connection on pin 20 (ADO-DIO0) on the XMTR from +3.3 volts to ground. What happens now? The LED should turn on, but perhaps not immediately.

Remember, the XMTR transmits new information only every two seconds. It has a delay of one second between samples and it takes two samples, so it can take as long as two seconds for the LED to change state after you change the jumper at the XMTR from +3.3 volts to ground, or vice versa. If you think a digital input will change faster than every two seconds, you might need to increase the sample rate at the transmitter accordingly so an XBee receiver module gets the digital information in a timely fashion.

You now have wireless control of the LED at the RCVR module based on the logic input at the DIO0 pin at the XMTR module. You could use a switch, pushbutton, or other mechanical device instead of the jumper at the XMTR module to cause an action at the RCVR module. The XBee modules operate from a 3.3-volt power supply, so you also could connect digital inputs to 3.3-volt-compatible logic devices such as a microcontroller or individual logic circuits. Also, you could use several digital inputs and outputs in parallel.

In the next experiment, you will learn how the XBee modules can transfer analog signals—voltages between ground (0 volts) and +3.3 volts.

Step 11. Optional. If you would like the LED to respond faster, what could you do?

30 Use an XBee Module for Remote Control

You could reduce the time between transmissions on the XMTR module and also go from two samples to only one sample per transmission.

Program the XMTR for a sample rate of 1/4 second and only one sample. Remember 1/4 second equals 250 milliseconds, for a setting:

IR – Sample Rate = FA
 IT – Samples before TX = 1

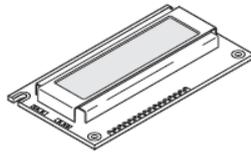
Or you could use the IC – DIO Change Detect command to configure the XMTR module to transmit new digital-input information as soon as the DIO0 input changes state from a logic 0 to a logic 1 or vice versa. You will learn how to do that in another experiment.

ANEXO C: Hojas técnicas del LCD 16x2

ALPHANUMERIC LCD DISPLAY (16 x 2)

Order Code

LED308 16 x 2 Alphabetic Display
 FIRM00 Serial LCD Firmware (optional)



Contents

1 x 16x2 Alphabetic Display
 1 x data booklet

Introduction

Alphanumeric displays are used in a wide range of applications, including palm-top computers, word processors, photocopiers, point of sale terminals, medical instruments, cellular phones, etc. The 16 x 2 intelligent alphanumeric dot matrix display is capable of displaying 224 different characters and symbols. A full list of the characters and symbols is printed on page 7/8 (note these symbols can vary between brand of LCD used). This booklet provides all the technical specifications for connecting the unit, which requires a single power supply (+5V).

Further Information

Available as an optional extra is the Serial LCD Firmware, which allows serial control of the display. This option provides much easier connection and use of the LCD module. The firmware enables microcontrollers (and microcontroller based systems such as the PICARD) to visually output user instructions or readings onto an LCD module. All LCD commands are transmitted serially via a single microcontroller pin. The firmware can also be connected to the serial port of a computer.

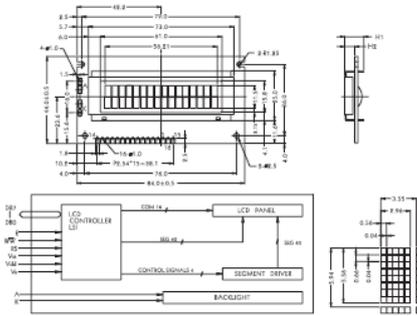
An example PICARD instruction to print the text 'Hello' using the `wrcout` command is as follows:

```
wrcout 7,r2400, ("Hello")
```



LCD DISPLAY

Outline Dimension and Block Diagram



The tolerance unless classified ±0.3mm

MECHANICAL SPECIFICATION			
Display Size	64.0 x 44.0	Module	16x2 (H/H)
View Area	61.0 x 41.0	Module	3.1 / 8.7
Dot Size	0.54 x 0.60	H. Bl.	1 / 8.7
Dot Pitch	0.65 x 0.70	Dot Bl.	8.47 / 8.0

PIN ASSIGNMENT			ABSOLUTE MAXIMUM RATING						
Pin No.	Symbol	Function	Item	Symbol	Condition	Min.	Max.	Unit	
1	V _{DD}	Power supply (V _{DD})	Power Supply Voltage	V _{DD} max	—	0	7	V	
2	V _{SS}	Power supply (V _{SS})	LCD Drive Supply Voltage	V _{DD} min	—	0	13	V	
3	Vo	Control Pulse	Dot Voltage	V _{Do}	—	±0.3	V _{DD} +0.3	V	
4	Vo	Control Pulse	Operating Temperature	Temp	Max	0	20	°C	
5	R/W	Data read/write	Storage Temperature	Temp	Min	—	—20	°C	
6	E	Enable signal	ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{DD} = +5V, T₀ = 25°C)						
7	DB7	Data bus line	Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
8	DB6	Data bus line	Logic Supply Voltage	V _{DD}	—	4.5	5	5.5	V
9	DB5	Data bus line	"H" Input Voltage	V _{IH}	—	2.0	—	—	V
10	DB4	Data bus line	"S" Input Voltage	V _{IL}	—	—	—	0.5	V
11	DB3	Data bus line	"H" Output Voltage	V _{OH}	—	0.4	—	—	V
12	DB2	Data bus line	"L" Output Voltage	V _{OL}	—	—	—	0.4	V
13	DB1	Data bus line	Supply Current	I _{DD}	—	—	—	—	mA
14	A	Power supply (V _{DD} (SCL))	LCD Drive Voltage	V _{DD} min	—	4.3	—	4.8	V
15	K	Power supply (V _{DD} (CL))							

LCD DISPLAY

Electrical Characteristics

V_{DD} = 5V ± 5%
 V_{SS} = 0V

Item	Symbol	Condition	Standard value		Unit	Applicable Terminal
			Min.	Typ.		
Power voltage	V _{DD}	—	4.5	5.0	V	V _{DD}
Input H - level voltage	V _{IH}	—	2.0	—	V	RS, R/W, E, DB0 - DB7
Input L - level voltage	V _{IL}	—	0.3	—	V	DB0 - DB7
Output H - level voltage	V _{OH}	I _{OH} = 0.303 mA	2.4	—	V	DB0 - DB7
Output L - level voltage	V _{OL}	I _{OL} = 1.8 mA	—	0.4	V	DB0 - DB7
I/O leakage current	I _L	V _{IN} = 0 - V _{DD}	—	1.0	μA	RS, R/W, E, DB0 - DB7
Supply current	I _{DD}	V _{DD} = 5V	—	—	mA	V _{DD}
LCD operating voltage	V _{LCD}	V _{DD} = 5V	3.0	—	V	Vo

Timing Characteristics

V_{DD} = 5V ± 5%
 V_{SS} = 0V

Item	Symbol	Min.	Max.	Unit
Enable pulse time	T _{EN}	100	—	ns
Enable pulse width	P _{EN}	200	—	ns
Enable rise / fall time	T _r , T _f	—	25	ns
Set-up time	T _{st}	40	—	ns
Address hold time	T _{ah}	10	—	ns
Data set-up time	T _{ds}	60	—	ns
Data delay time	T _{dd}	60	120	ns
Data hold time (writing)	T _{dh}	10	—	ns
Data hold time (reading)	T _{dh}	20	—	ns
Clock oscillating frequency	T _{osc}	270 (TH)	—	KHz

Timing Chart

FIG. 1 WRITE OPERATION

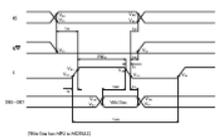
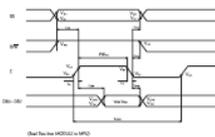


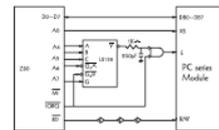
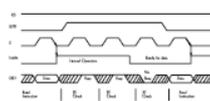
FIG. 2 READ OPERATION



LCD DISPLAY

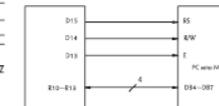
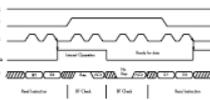
Interface with MPU

Example of Interface with 8-bit MPU (Z80)



Example of Interface with 4-bit MPU

Interface with 4-bit MPU can be made through I/O port of 4-bit MPU. If there are enough I/O ports, data can be transferred by 8-bit, however, if there are not data transfer can be done by 4-bit in twice (first interface is 4-bit long), and timing sequence will be complicated in this case. Please take into account that 2 cycles of BF check is necessary, while 2 cycles of data transfer are also necessary.



Features

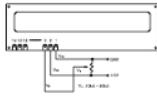
- Interface with 8-bit or 4-bit MPU is available.
- 192 level of alphabets, numerals, symbols and special characters can be displayed by built-in character generator (ROM).
- Other preferred characters can be displayed by character generator (RAM).
- Various functions of instruction are available by programming.
 - Clear display - Cursor at home - On / off cursor
 - Shift character - Shift display - Shift cursor
 - Read / write display data... etc.
- Compact and light weight design which can be easily assembled in device.
- Single power supply + 5V drive (except for extended temp. type).
- Low power consumption.
- Interface between data bus (8 and 4-bit or 8-bit MPU) is available. Data transfer are made in twice in case of 4-bit MPU, and once in case of 8-bit MPU.

• If interface data is 4-bit long
 Data transfer are made through 4 bus lines from DB4 to DB7. (while the rest of 4 bus lines from DB0 to DB3 are not used.) Data transfer with MPU are completed when 4-bit data are transferred in twice.
 (First upper 4-bit data, then lower 4-bit data.)

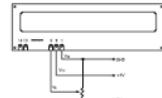
• If interface data is 8-bit long
 Data transfer are made through all of 8 bus lines from DB0 to DB7.

Example of Power Supply

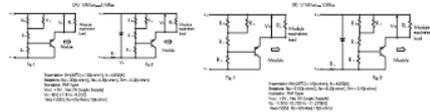
Normal Temperature Type



Extended Temperature Type



Examples of Temperature Compensation Circuits for Extended Temp. Type. (Only for reference)



Instructions

Instruction	Code	Description	Executed Time(max)
Clear Display	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1	Clear all display and return the cursor to the home position (Address 0)	1.64μs
Cursor At Home	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1	Return the cursor to the home position (Address 0). Also return the display latch (L) to the original position. (CG RAM contents remain unchanged)	1.64μs
Entry Mode Set	0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0	Set the cursor movement direction and position to set to all the display. These operations are performed from data output control.	40μs
Display On/Off Control	0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0	Set ON/OFF of all display (ON: cursor ON/OFF (DL) and Max of cursor position (Address 0))	40μs
Cursor Display Set	0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0	Always the cursor and shifts the display without changing CG RAM contents.	40μs
Function Set	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0	Set interface data length (DL) number of display lines (L) and character font (F)	40μs
CG RAM Address Set	0 0 0 0 1	ACG	40μs
CG RAM Address Set	0 0 0 1	ADD	40μs
Write Data	0 0 0 0	AC	40μs
CG RAM/CG RAM Data Write	1 0	WRITE DATA	40μs
CG RAM/CG RAM Data Read	1 1	READ DATA	40μs

Code Description Executed Time (max)

I/D = 1: Increment DL = 0.4 bit
I/D = 0: Decrement N = 1: 8 lines
S/L = 1: Write display shift N = 0: 1 line
S/C = 0: cursor movement F = 1: 2.0x font
R/L = 1: Shift to the right F = 0: 2.5x font
R/L = 0: Shift to the left BF = 0: Instruction acceptable
DL = 1: 8 bit * Invalid

CG RAM: Display Data RAM
CG RAM: Character Generator RAM
ACG: CG RAM Address
ADD: CG RAM Address Comparison
AC: Address Counter, used for both CG RAM and CG RAM

Top of line = 2500Hz
However, when frequency changes, execution time also changes.
Example: 7 Hz on line is 270Hz, 70μs; 250/270 = 27μs

Standard Character Pattern (Powertip Module)

	Higher 4-bit (D4) of Character Code (Hexadecimal)																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	
0	CG RAM (1)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1	CG RAM (2)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
2	CG RAM (3)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
3	CG RAM (4)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
4	CG RAM (5)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
5	CG RAM (6)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
6	CG RAM (7)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
7	CG RAM (8)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
8	CG RAM (9)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
9	CG RAM (0)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
A	CG RAM (1)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
B	CG RAM (2)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
C	CG RAM (3)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
D	CG RAM (4)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
E	CG RAM (5)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
F	CG RAM (6)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

Power Supply Reset

The internal reset circuit will be operated properly when the following power supply conditions are satisfied. If it is not operated properly, please perform initial setting along with the instruction.

Item	Symbol	Measuring Condition	Standard Value	Unit
Power Supply RISE Time	t _{rise}	—	0.1	μs
Power Supply CFF Time	t _{fall}	—	1	μs

Reset function

Initialization Mode by Internal Reset Circuit

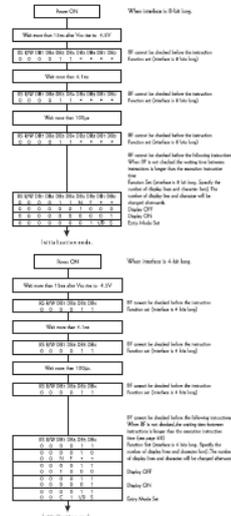
HD44780 automatically initializes (resets) when power is supplied (built-in internal reset circuit). The following instructions are executed in initialization. The busy flag (BF) is kept in busy state until initialization ends. (BF = 1) The busy state is 10 ms after Vdd reaches to 4.5V.

- (1) Display clear
- (2) Function set
DL = 1: 8 bit long interface data
DL = 0: 4 bit F = 0.5 x Tabla character font
N = 1: 2 line
N = 0: 1 line
- (3) Display ON/OFF control
D = 0: Display OFF C = 0: Cursor OFF
B = 0: BkA OFF
- (4) Entry mode set
1/D = 1: 1 increment S = 0: No shift

Note: When conditions stated in power supply conditions using internal reset circuit are not satisfied, the internal reset circuit will not operate properly and initialization will not be performed. Please make initialization using MPU along with instruction.

Initialization along with instruction

If power supply conditions are not satisfied, which for proper operation of internal reset circuit, it is required to make initialization along with instruction. Please make following procedures.



Standard Character Pattern (Elec & Eltek Module)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	
0	ELC RAM (1)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1	ELC RAM (2)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
2	ELC RAM (3)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
3	ELC RAM (4)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
4	ELC RAM (5)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
5	ELC RAM (6)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
6	ELC RAM (7)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
7	ELC RAM (8)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
8	ELC RAM (9)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
9	ELC RAM (0)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
A	ELC RAM (1)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
B	ELC RAM (2)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
C	ELC RAM (3)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
D	ELC RAM (4)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
E	ELC RAM (5)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
F	ELC RAM (6)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

ANEXO D: Tablas de conversión del oxígeno disuelto

Elevación (pies)	Presión (mm Hg)	Elevación (pies)	Presión (mm Hg)	Elevación (pies)	Presión (mm Hg)
0	760	2000	708	4000	659
250	753	2250	702	4250	653
500	746	2500	695	4500	647
750	739	2750	689	4750	641
1000	733	3000	683	5000	635
1250	727	3250	677	5250	629
1500	720	3500	671	5500	624
1750	714	3750	665	5750	618

	770 mm	760 mm	750 mm	740 mm	730 mm	720 mm	710 mm	700 mm	690 mm	680 mm	670 mm	660 mm
0°C	14.76	14.57	14.38	14.19	13.99	13.80	13.61	13.42	13.23	13.04	12.84	12.65
1°C	14.38	14.19	14.00	13.82	13.63	13.44	13.26	13.07	12.88	12.70	12.51	12.32
2°C	14.01	13.82	13.64	13.46	13.28	13.10	12.92	12.73	12.55	12.37	12.19	12.01
3°C	13.65	13.47	13.29	13.12	12.94	12.76	12.59	12.41	12.23	12.05	11.88	11.70
4°C	13.31	13.13	12.96	12.79	12.61	12.44	12.27	12.10	11.92	11.75	11.58	11.40
5°C	12.97	12.81	12.64	12.47	12.30	12.13	11.96	11.80	11.63	11.46	11.29	11.12
6°C	12.66	12.49	12.33	12.16	12.00	11.83	11.67	11.51	11.34	11.18	11.01	10.85
7°C	12.35	12.19	12.03	11.87	11.71	11.55	11.39	11.23	11.07	10.91	10.75	10.59
8°C	12.05	11.90	11.74	11.58	11.43	11.27	11.11	10.96	10.80	10.65	10.49	10.33
9°C	11.77	11.62	11.46	11.31	11.16	11.01	10.85	10.70	10.55	10.39	10.24	10.09
10°C	11.50	11.35	11.20	11.05	10.90	10.75	10.60	10.45	10.30	10.15	10.00	9.86
11°C	11.24	11.09	10.94	10.80	10.65	10.51	10.36	10.21	10.07	9.92	9.78	9.63
12°C	10.98	10.84	10.70	10.56	10.41	10.27	10.13	9.99	9.84	9.70	9.56	9.41
13°C	10.74	10.60	10.46	10.32	10.18	10.04	9.90	9.77	9.63	9.49	9.35	9.21
14°C	10.51	10.37	10.24	10.10	9.96	9.83	9.69	9.55	9.42	9.28	9.14	9.01
15°C	10.29	10.15	10.02	9.88	9.75	9.62	9.48	9.35	9.22	9.08	8.95	8.82
16°C	10.07	9.94	9.81	9.68	9.55	9.42	9.29	9.15	9.02	8.89	8.76	8.63
17°C	9.86	9.74	9.61	9.48	9.35	9.22	9.10	8.97	8.84	8.71	8.58	8.45
18°C	9.67	9.54	9.41	9.29	9.16	9.04	8.91	8.79	8.66	8.54	8.41	8.28
19°C	9.47	9.35	9.23	9.11	8.98	8.86	8.74	8.61	8.49	8.37	8.24	8.12
20°C	9.29	9.17	9.05	8.93	8.81	8.69	8.57	8.45	8.33	8.20	8.08	7.96
21°C	9.11	9.00	8.88	8.76	8.64	8.52	8.40	8.28	8.17	8.05	7.93	7.81
22°C	8.94	8.83	8.71	8.59	8.48	8.36	8.25	8.13	8.01	7.90	7.78	7.67
23°C	8.78	8.66	8.55	8.44	8.32	8.21	8.09	7.98	7.87	7.75	7.64	7.52
24°C	8.62	8.51	8.40	8.28	8.17	8.06	7.95	7.84	7.72	7.61	7.50	7.39
25°C	8.47	8.36	8.25	8.14	8.03	7.92	7.81	7.70	7.59	7.48	7.37	7.26
26°C	8.32	8.21	8.10	7.99	7.89	7.78	7.67	7.56	7.45	7.35	7.24	7.13
27°C	8.17	8.07	7.96	7.86	7.75	7.64	7.54	7.43	7.33	7.22	7.11	7.01
28°C	8.04	7.93	7.83	7.72	7.62	7.51	7.41	7.30	7.20	7.10	6.99	6.89
29°C	7.90	7.80	7.69	7.59	7.49	7.39	7.28	7.18	7.08	6.98	6.87	6.77
30°C	7.77	7.67	7.57	7.47	7.36	7.26	7.16	7.06	6.96	6.86	6.76	6.66
31°C	7.64	7.54	7.44	7.34	7.24	7.14	7.04	6.94	6.85	6.75	6.65	6.55

ANEXO E: *Software* del módulo de muestreo

```
##### LIBRERIAS #####

#include <SoftwareSerial.h>

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

##### DEFINICIÓN DE VARÍALES Y PINES#####

SoftwareSerial myserial(rx, tx);

OneWire ourWire(Pin);

DallasTemperature sensors(&ourWire);

#define rx 5

#define tx 4

#define Pin 3

String inputstring = "";

String sensorstring = "";

boolean input_string_complete = false;

boolean sensor_string_complete = false;

float DO;

const int analogInPin = A0;

int sensorValue = 0;

unsigned long int avgValue;

float b;

int buf[10],temp;

int ledPin = 13;

int sensor_in = 2;

##### FUNCIÓN DE INICIALIZACIÓN #####

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  myserial.begin(9600);

  inputstring.reserve(10);

  sensorstring.reserve(30);
```

```

sensors.begin();

pinMode(ledPin, OUTPUT);

pinMode(sensor_in, INPUT);

Serial.print("\t");

Serial.print("Temp");

Serial.print("\t");

Serial.print("PH");

Serial.print("\t");

Serial.println("Turb");
}

##### FUNCIÓN serialEvent (SENSOR OXÍGENO DISUELTO) #####

void serialEvent() {

inputstring = Serial.readStringUntil(13);

input_string_complete = true;

}

##### FUNCIÓN tempe (SENSOR TEMPERATURA) #####

int tempe() {

sensors.requestTemperatures();

Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0));

Serial.print("\t");

}

##### FUNCIÓN phsen (SENSOR PH) #####

int phsen() {

for(int i=0;i<10;i++)

{

buf[i]=analogRead(analogInPin);

delay(10);

}

for(int i=0;i<9;i++)

{

```

```

for(int j=i+1;j<10;j++)
{
  if(buf[i]>buf[j])
  {
    temp=buf[i];
    buf[i]=buf[j];
    buf[j]=temp;
  }
}
avgValue=0;
for(int i=2;i<8;i++)
avgValue+=buf[i];
float pHVol=(float)avgValue*5.0/1024/6;
float pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
Serial.print(pHValue);
Serial.print("\t");
}

##### FUNCIÓN turb (SENSOR TURBIDEZ) #####

void turb() {
  if(digitalRead(sensor_in)==LOW){
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    Serial.println("alta");
  }else{
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    Serial.println("normal");
  }
}

```

BUCLE (SENSOR DE OXÍGENO DISUELTO)

```
void loop() {  
  if (input_string_complete){  
    myserial.print(inputstring);  
    myserial.print("\r");  
    inputstring = "";  
    input_string_complete = false;  
  }  
  
  if (myserial.available() > 0) {  
    char inchar = (char)myserial.read();  
    sensorstring += inchar;  
    if (inchar == '\r') {  
      sensor_string_complete = true;  
    }  
  }  
  
  if (sensor_string_complete== true) {  
    Serial.print(sensorstring);  
    Serial.print("\t");  
    sensorstring = "";  
    sensor_string_complete = false;  
    phsen();  
    tempe();  
    turb();  
    delay(20000);  
  }  
}
```

ANEXO F: Scripts de programación del módulo de recolección de datos

```
##### SCRIPT PRINCIPAL #####
```

```
## IMPORTAR LIBRERÍAS ##
```

```
#!/usr/bin/python
```

```
import RPi.GPIO as GPIO
```

```
import time
```

```
import serial
```

```
from datetime import datetime, date
```

```
## INICIAR PUERTO SERIAL Y DEFINICIÓN DE FORMATOS DE FECHA/HORA ##
```

```
se=serial.Serial('/dev/ttyUSB0',9600)
```

```
form1="%d-%m-%Y"
```

```
form2="%H,%M"
```

```
formato="%H,%M-%d-%m-%Y"
```

```
hoy=datetime.today()
```

```
cadena= hoy.strftime(formato)
```

```
formato2="%M"
```

```
formato3="%H,%M"
```

```
## CREAR UN NUEVO ARCHIVO DE TEXTO PLANO ##
```

```
f=open("/media/usb/monitoreo"+cadena+".txt","w")
```

```
f.close()
```

```
## DEFINICIÓN DE LOS PINES GPIO ##
```

```
LCD_RS = 14
```

```
LCD_E = 15
```

```
LCD_D4 = 18
```

```
LCD_D5 = 23
```

```
LCD_D6 = 24
```

```
LCD_D7 = 25
```

```

        ## DEFINICIÓN DE CONSTANTES PARA EL LCD ##
LCD_WIDTH = 16 # Maximum characters per line
LCD_CHR = True
LCD_CMD = False
LCD_LINE_1 = 0x80 # LCD RAM address for the 1st line
LCD_LINE_2 = 0xC0 # LCD RAM address for the 2nd line

        ## CONSTANTES DE TIEMPO ##
E_PULSE = 0.0005
E_DELAY = 0.0005

        ## FUNCIÓN PRINCIPAL ##
def main():
    GPIO.setwarnings(False)
    GPIO.setmode(GPIO.BCM) # Use BCM GPIO numbers
    GPIO.setup(LCD_E, GPIO.OUT) # E
    GPIO.setup(LCD_RS, GPIO.OUT) # RS
    GPIO.setup(LCD_D4, GPIO.OUT) # DB4
    GPIO.setup(LCD_D5, GPIO.OUT) # DB5
    GPIO.setup(LCD_D6, GPIO.OUT) # DB6
    GPIO.setup(LCD_D7, GPIO.OUT) # DB7

        ## ESCRITURA EN LCD ##
    lcd_init()
    while True: # ## BUCLE PRINCIPAL ##
        lcd_string(" MONITOREO ",LCD_LINE_1)
        lcd_string(" Dique Fatima",LCD_LINE_2)
        time.sleep(3)
        hy=datetime.today()
        cad1=hy.strftime(form1)
        cad2=hy.strftime(form2)
        lcd_string(cad1,LCD_LINE_1)
        lcd_string(cad2,LCD_LINE_2)
        time.sleep(5)

```

```

incomming=se.readline().strip() ## LEER PUERTO SERIAL ##

lcd_string(" OD pH Tem Tur",LCD_LINE_1)

lcd_string(incomming,LCD_LINE_2)

f=open("/media/usb/monitoreo"+cadena+".txt","a") ## GUARDAR DATOS ##

hora=hoy.strftime(formato3)

f.write("\n"+hora+" "+incomming)

f.close()

time.sleep(10)

    ## FUNCIÓN DE INICIALIZACIÓN DEL LCD ##

def lcd_init():

    lcd_byte(0x33,LCD_CMD) # 110011 Initialise
    lcd_byte(0x32,LCD_CMD) # 110010 Initialise
    lcd_byte(0x06,LCD_CMD) # 000110 Cursor move direction
    lcd_byte(0x0C,LCD_CMD) # 001100 Display On,Cursor Off, Blink Off
    lcd_byte(0x28,LCD_CMD) # 101000 Data length, number of lines, font size
    lcd_byte(0x01,LCD_CMD) # 000001 Clear display
    time.sleep(E_DELAY)

    ## FUNCIÓN PARA DECLARAR EL MODO DE OPERACIÓN DE LOS PINES LCD ##

def lcd_byte(bits, mode):

    # bits = data

    # mode = True for character

    # False for command

    GPIO.output(LCD_RS, mode) # RS

    GPIO.output(LCD_D4, False)

    GPIO.output(LCD_D5, False)

    GPIO.output(LCD_D6, False)

    GPIO.output(LCD_D7, False)

    if bits&0x10==0x10:

        GPIO.output(LCD_D4, True)

    if bits&0x20==0x20:

        GPIO.output(LCD_D5, True)

```

```

if bits&0x40==0x40:
    GPIO.output(LCD_D6, True)
if bits&0x80==0x80:
    GPIO.output(LCD_D7, True)
# Toggle 'Enable' pin
lcd_toggle_enable()
# Low bits
GPIO.output(LCD_D4, False)
GPIO.output(LCD_D5, False)
GPIO.output(LCD_D6, False)
GPIO.output(LCD_D7, False)
if bits&0x01==0x01:
    GPIO.output(LCD_D4, True)
if bits&0x02==0x02:
    GPIO.output(LCD_D5, True)
if bits&0x04==0x04:
    GPIO.output(LCD_D6, True)
if bits&0x08==0x08:
    GPIO.output(LCD_D7, True)
# Toggle 'Enable' pin
lcd_toggle_enable()
def lcd_toggle_enable():
# Toggle enable
time.sleep(E_DELAY)
GPIO.output(LCD_E, True)
time.sleep(E_PULSE)
GPIO.output(LCD_E, False)
time.sleep(E_DELAY)
    ## FUNCIÓN DE FINALIZACIÓN DE LCD ##
def lcd_string(message,line):
    message = message.ljust(LCD_WIDTH," ")

```

```
lcd_byte(line, LCD_CMD)
for i in range(LCD_WIDTH):
    lcd_byte(ord(message[i]),LCD_CHR)
if __name__ == '__main__':
    try:
        main()
    except KeyboardInterrupt:
        pass
    finally:
        lcd_byte(0x01, LCD_CMD)
        lcd_string("Goodbye!",LCD_LINE_1)
        GPIO.cleanup()
```

EJECUCIÓN DEL SCRIPT PRINCIPAL

```
cat /etc/init.d/detector-init
```

```
#!/bin/sh
```

```
# /etc/init.d/detector-init
```

```
### INFORMACIÓN
```

```
# Provides:    detector-init
```

```
# Required-Start:  $all
```

```
# Required-Stop:  $remote_fs $syslog
```

```
# Default-Start:  2 3 4 5
```

```
# Default-Stop:   0 1 6
```

```
# Short-Description: Script de ejemplo de arranque automático
```

```
# Description:    Script para arrancar el detector de presencia
```

```
case "$1" in
```

```
start)
```

```
    echo "Arrancando detector-init"
```

```
# Aquí hay que poner el programa que quieras arrancar automáticamente
/usr/bin/python /home/pi/lcd_16x2.py
;;
stop)
    echo "Deteniendo detector-init"
    ;;
*)
    echo "Modo de uso: /etc/init.d/detector-init {start|stop}"
    exit 1
    ;;
esac
exit 0
```

EJECUCIÓN DE LA HERRAMIENTA INSYNC

###INFORMACIÓN

#Provides: insync

#Required-Start: hostname \$local_fs

Required-Stop:

Should-Start:

Default-Start: 2 3 4 5

Default-Stop: 0 1 6

Short-Description: Gestiona insync, el cliente de Google Drive en Linux

PATH=/sbin:/usr/sbin:/bin:/usr/bin . /lib/init/vars.sh

do_start ()

{

Arrancamos insync

Google Drive en Raspberry Pi

echo Arrancando insync

cd /home/pi/insync-portable/client sudo -u pi ./insync-portable start

}

```
do_status ()
{ echo No implementado
}

do_stop ()
{
echo Cerrando insync cd /home/pi/insync-portable/client sudo -u pi ./insync-portable quit
}

case "$1" in
start)
do_start
;;
restart|reload|force-reload)
echo "Error: argumento '$1' no implementado" >&2 exit 3
;;
stop)
do_stop
;;
status)
do_status exit $?
;;
*)
echo "Uso: insync [start|stop]" >&2 exit 3
;;
esac
```

