



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

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO INALÁMBRICO IPV6**  
**QUE PERMITA COMPROBAR LA CALIDAD DE AGUA EN SMART**  
**CITIES**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO ELECTRÓNICO EN TELECOMUNICACIONES Y REDES**

**AUTORA: SANDRA ELIZABETH YUMI CORO**

**TUTOR: ING. OSWALDO GEOVANNY MARTÍNEZ GUASHIMA**

**Riobamba-Ecuador**

**2016**

**@2016, Sandra Elizabeth Yumi Coro**

Se autoriza la reproducción total o parcial del presente documento, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo citas bibliográficas, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**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: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO INALÁMBRICO IPV6 QUE PERMITA COMPROBAR LA CALIDAD DE AGUA EN SMART CITIES”, de responsabilidad de la señorita Sandra Elizabeth Yumi Coro, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

| <b>NOMBRE</b>  | <b>FIRMA</b> | <b>FECHA</b> |
|--|--------------|--------------|
| Dr. Miguel Tasambay PhD.   |              |              |
| <b>DECANO FACULTAD DE<br/>INFORMÁTICA Y<br/>ELECTRÓNICA</b>                                    | _____        | _____        |
| Ing. Franklin Moreno   |              |              |
| <b>DIRECTOR DE ESCUELA DE<br/>INGENIERÍA ELECTRÓNICA<br/>EN TELECOMUNICACIONES Y<br/>REDES</b> | _____        | _____        |
| Ing. Oswaldo Geovanny Martínez.  |              |              |
| <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE<br/>TITULACIÓN</b>  | _____        | _____        |
| Dr. Geovanny Vallejo   |              |              |
| <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>  | _____        | _____        |
| <b>DOCUMENTALISTA<br/>SISBIB ESPOCH</b>  | _____        | _____        |

“Yo, Sandra Elizabeth Yumi Coro, soy responsable de todas las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

---

Sandra Elizabeth Yumi Coro

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, a mi familia en especial a mi mamá Aída por el gran esfuerzo realizado todos los días para que pueda culminar mi carrera universitaria, quien ha sido el cimiento de este logro, pues con su amor, paciencia y tolerancia me brindo aliento cuando sentía que ya no podía continuar, permitiéndome así llegar a la meta, demostrándome siempre su amor incondicional.

**Sandy**

## **AGRADECIMIENTO**

En el presente trabajo de titulación quiero agradecer primeramente a Dios por otorgarme la dicha de haber llegado hasta la meta anhelada, por la bendición y sabiduría que me ha dado.

A mi mami porque me dio el mejor ejemplo de lucha y trabajo constante, todos los días con su infinito amor y confianza me llenaba de esperanza y nuevas expectativas de la vida, dándome así la fortaleza para seguir adelante.

A mi Tía Nonito, que con sus palabras de aliento me impulsaba a continuar con esta lucha y visualizar nuevamente el objetivo.

A mi Tutor, Asesor y docentes que con sus conocimientos, orientaciones y sobre todo paciencia ayudaron a que sea posible el desarrollo del presente trabajo.

**Sandy**

## TABLA DE CONTENIDO

|  | Páginas    |
|--|------------|
| <b>PORTADA</b>   |            |
| <b>DERECHO DE AUTOR.....</b>   | <b>i</b>   |
| <b>CERTIFICACIÓN.....</b>  | <b>ii</b>  |
| <b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....</b>   | <b>iii</b> |
| <b>DEDICATORIA.....</b>  | <b>iv</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO.....</b>   | <b>v</b>   |
| <b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>  | <b>vi</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>   | <b>ix</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>   | <b>xi</b>  |
| <b>ÍNDICE DE ANEXOS.....</b>   | <b>xiv</b> |
| <b>RESUMEN.....</b>  | <b>xv</b>  |
| <b>SUMMARY.....</b>  | <b>xvi</b> |
| <br>   |            |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b>   |
| <br>   |            |
| <b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>  | <b>4</b>   |
| <br>   |            |
| <b>1.1 Internet de las Cosas ( IoT).....</b>   | <b>4</b>   |
| <i>1.1.1 Características y Avances.....</i>  | <i>4</i>   |
| <i>1.1.2 Seguridad en IoT.....</i>   | <i>6</i>   |
| <i>1.1.3 Aplicaciones.....</i>   | <i>6</i>   |
| <i>1.1.4 Relación entre IoT y Smart Cities .....</i>                                     | <i>8</i>   |
| <i>1.1.5 Ecuador y las Smart Cities .....</i>  | <i>8</i>   |
| <i>1.1.6 Redes de Sensores Inalámbricas .....</i>  | <i>9</i>   |
| <i>1.1.6.1 Características de las Redes de Sensores.....</i>                             | <i>10</i>  |
| <i>1.1.6.2 Elementos de las WSN.....</i>   | <i>11</i>  |
| <i>1.1.6.3 Nodos Sensoriales (Motas).....</i>  | <i>12</i>  |
| <i>1.1.6.4 Gateway .....</i>   | <i>14</i>  |
| <i>1.1.6.5 Estación Base.....</i>  | <i>14</i>  |
| <i>1.1.6.6 Topología de Red .....</i>  | <i>14</i>  |
| <b>1.2 Protocolo IPv6 .....</b>  | <b>16</b>  |
| <i>1.2.1 Alternativas.....</i>   | <i>17</i>  |
| <i>1.2.2 IPV6 sobre Redes Inalámbricas de área Personal de Baja Potencia (6LoWPAN)..</i> | <i>19</i>  |
| <b>1.3 Estándar IEEE 802.15.4.....</b>   | <b>21</b>  |
| <i>1.3.1 Arquitectura del Estándar IEEE 802.15.4.....</i>                                | <i>21</i>  |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| 1.3.1.1      | Capa Física PHY.....  | 21        |
| 1.3.1.2      | Capa MAC.....   | 23        |
| <b>1.4</b>   | <b>Módulos de Trasmisión Xbee .....</b>                                   | <b>24</b> |
| <b>1.4.1</b> | <b>Tipos de Antenas .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>1.4.2</b> | <b>Características generales de los módulos XBee, XBee PRO .....</b>      | <b>26</b> |
| 1.4.2.1      | Modo AT.....  | 27        |
| 1.4.2.2      | Modo API.....   | 27        |
| <b>1.4.4</b> | <b>Modos de operación.....</b>  | <b>29</b> |
| 1.4.4.1      | Modo Transmisión/ Recepción.....  | 28        |
| 1.4.4.2      | Modo de bajo consumo.....   | 28        |
| 1.4.4.3      | Modo de comando.....  | 30        |
| 1.4.4.4      | Modo IDLE .....   | 29        |
| <b>1.5</b>   | <b>Placas Arduino .....</b>   | <b>29</b> |
| <b>1.5.1</b> | <b>Placas Oficiales .....</b>   | <b>30</b> |
| <b>1.5.2</b> | <b>Placas compatibles .....</b>   | <b>30</b> |
| <b>1.5.3</b> | <b>Características Generales.....</b>                                     | <b>30</b> |
| <b>1.6</b>   | <b>Agua Potable.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>1.6.1</b> | <b>Calidad de Agua .....</b>  | <b>33</b> |
| <b>1.6.2</b> | <b>Estándares de calidad del Agua Potable .....</b>                       | <b>33</b> |
| 1.6.2.1      | La Organización Mundial de la Salud.....                                  | 33        |
| 1.6.2.2      | Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. .... | 34        |
| <b>1.6.3</b> | <b>Descripción de los parámetros de agua a ser analizados.....</b>        | <b>38</b> |
| 1.6.3.1      | Oxígeno Disuelto (OD) .....   | 38        |
| 1.6.3.2      | Potencial de Óxido Reducción (ORP).....                                   | 39        |
| 1.6.3.3      | Potencial de Hidrógeno (pH).....  | 39        |
| 1.6.3.4      | Conductividad.....  | 40        |
| 1.6.3.5      | Sólidos totales disueltos (TDS).....                                      | 40        |
| 1.6.3.6      | Salinidad .....   | 41        |
| <b>1.7</b>   | <b>Software Computacional.....</b>  | <b>41</b> |
| <b>1.7.1</b> | <b>Arduino IDE.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>1.7.2</b> | <b>Labview.....</b>   | <b>43</b> |
| <b>1.7.3</b> | <b>Software Atlas Scientific .....</b>                                    | <b>44</b> |
| <b>1.7.4</b> | <b>Ns-2.....</b>  | <b>45</b> |
| <b>1.7.5</b> | <b>X-CTU.....</b>   | <b>46</b> |
| <b>2.</b>    | <b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>Evaluación de Sensores .....</b>                                       | <b>48</b> |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 2.1.1   | <i>Hardware para medir PH.....</i>   | 48  |
| 2.1.2   | <i>Hardware para medir ORP .....</i>   | 52  |
| 2.1.3   | <i>Hardware para medir OD.....</i>   | 56  |
| 2.1.4   | <i>Hardware para medir Conductividad.....</i>                                | 60  |
| 2.2     | <b>Evaluación de Placas Arduino.....</b>                                     | 64  |
| 2.2.1   | <i>Comparativa entre placas Arduino .....</i>                                | 64  |
| 2.3     | <b>Evaluación de Módulos Xbee.....</b>                                       | 67  |
| 2.3.1   | <i>Análisis de Cobertura.....</i>  | 67  |
| 2.3.2   | <i>Análisis de Eficiencia Energética y Tráfico.....</i>                      | 71  |
| 3.      | <b>MARCO DE RESULTADOS .....</b>   | 75  |
| 3.1     | <b>Diseño del Prototipo Inalámbrico .....</b>                                | 75  |
| 3.1.1   | <i>Diagrama de bloques del Prototipo Inalámbrico .....</i>                   | 76  |
| 3.2     | <b>Configuración del Prototipo Inalámbrico .....</b>                         | 77  |
| 3.2.1   | <i>Configuración del nodo coordinador.....</i>                               | 77  |
| 3.2.1.1 | <i>Configuración de módulo Xbee para nodo coordinador .....</i>              | 77  |
| 3.2.2   | <i>Configuración del nodo sensorial.....</i>                                 | 81  |
| 3.2.2.1 | <i>Configuración del Módulo de Sensores.....</i>                             | 81  |
| 3.2.2.2 | <i>Configuración módulo de procesamiento (Arduino) .....</i>                 | 84  |
| 3.2.2.3 | <i>Configuración del módulo Xbee para nodo sensorial .....</i>               | 85  |
| 3.2.3   | <i>Aplicación de escritorio para usuario final .....</i>                     | 88  |
| 3.3     | <b>Pruebas de Funcionamiento del prototipo de la WSN.....</b>                | 89  |
| 3.3.1   | <i>Datos obtenidos con el prototipo de WSN para calidad de agua .....</i>    | 90  |
| 3.3.2   | <i>Valores promedios de los datos obtenidos y criterios de calidad. ....</i> | 97  |
| 3.4     | <b>Porcentaje de error del prototipo.....</b>                                | 97  |
| 3.5     | <b>Análisis económico .....</b>  | 98  |
| 3.6     | <b>Descripción de la propuesta.....</b>                                      | 100 |
|         | <b>CONCLUSIONES.....</b>   | 104 |
|         | <b>RECOMENDACIONES.....</b>  | 105 |
|         | <b>GLOSARIO</b>  |     |
|         | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  |     |
|         | <b>ANEXOS</b>  |     |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                   |   |     |
|-------------------|---|-----|
| <b>Tabla 1-1</b>  | Ejemplos de Objetos IoT.....                                      | 5   |
| <b>Tabla 2-1</b>  | Comparación de tecnologías Inalámbricas .....                     | 18  |
| <b>Tabla 3-1</b>  | Modelo ISO-OSI y Modelo del Estándar 802 .....                    | 21  |
| <b>Tabla 4-1</b>  | Arquitectura del Modelo IEEE 802.15.4 .....                       | 22  |
| <b>Tabla 5-1</b>  | Bandas y Parámetros de Operación del Estándar IEEE 802.15.4 ..... | 22  |
| <b>Tabla 6-1</b>  | Tipos de Agua.....  | 33  |
| <b>Tabla 7-1</b>  | Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano .....    | 36  |
| <b>Tabla 8-1</b>  | Parámetros de agua de consumo humano a analizar.....              | 40  |
| <b>Tabla 1-2</b>  | Escala cuantitativa y cualitativa .....                           | 51  |
| <b>Tabla 2-2</b>  | Sensores de pH disponibles en el mercado.....                     | 52  |
| <b>Tabla 3-2</b>  | Valoración de las características para los sensores de pH .....   | 52  |
| <b>Tabla 4-2</b>  | Análisis de las alternativas de pH por separado .....             | 53  |
| <b>Tabla 5-2</b>  | Análisis entre las 3 alternativas de pH.....                      | 53  |
| <b>Tabla 6-2</b>  | Medidor de ORP existentes en el mercado .....                     | 56  |
| <b>Tabla 7-2</b>  | Valoración de las características para los sensores de ORP .....  | 56  |
| <b>Tabla 8-2</b>  | Alternativas de ORP por separado .....                            | 57  |
| <b>Tabla 9-2</b>  | Análisis de las alternativas de ORP.....                          | 57  |
| <b>Tabla 10-2</b> | Sensores de OD existentes en el mercado .....                     | 59  |
| <b>Tabla 11-2</b> | Valoración de las características para los sensores de OD .....   | 60  |
| <b>Tabla 12-2</b> | Alternativas de OD.....   | 60  |
| <b>Tabla 13-2</b> | Análisis entre las 3 alternativas de DO.....                      | 61  |
| <b>Tabla 14-2</b> | Sensores de conductividad disponibles en el mercado .....         | 63  |
| <b>Tabla 15-2</b> | Características de los sensores de conductividad .....            | 63  |
| <b>Tabla 16-2</b> | Alternativas de EC individualmente .....                          | 64  |
| <b>Tabla 17-2</b> | Análisis entre las 3 alternativas de EC .....                     | 65  |
| <b>Tabla 18-2</b> | Valoración de las tarjetas Arduino .....                          | 65  |
| <b>Tabla 19-2</b> | Escala cualitativa para Tarjetas Arduino .....                    | 67  |
| <b>Tabla 20-2</b> | Características de los diferentes Arduinos .....                  | 68  |
| <b>Tabla 21-2</b> | Valoración de las características para tarjetas Arduino .....     | 68  |
| <b>Tabla 22-2</b> | Análisis de las características .....                             | 69  |
| <b>Tabla 23-2</b> | Datos Xbee Series 2 .....   | 71  |
| <b>Tabla 24-2</b> | Datos Xbee Pro 2,4GHZ .....                                       | 72  |
| <b>Tabla 25-2</b> | Datos Xbee Pro 900MHZ.....  | 73  |
| <b>Tabla 1-3</b>  | Datos obtenidos con el prototipo funcional .....                  | 920 |

|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>Tabla 2-3</b> | Valores Promedios de los datos.....          | 97  |
| <b>Tabla 3-3</b> | Cálculo del porcentaje de error .....        | 98  |
| <b>Tabla 4-3</b> | Inversión en un análisis común de agua ..... | 99  |
| <b>Tabla 5-3</b> | Inversión del prototipo .....                | 99  |
| <b>Tabla 6-3</b> | Análisis comparativo de inversiones .....    | 100 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Figura 1-1</b>  | Red de Sensores Inalámbrica para calidad de agua..... | 10 |
| <b>Figura 2-1</b>  | Arquitectura de una WSN.....                          | 12 |
| <b>Figura 3-1</b>  | Partes de un Nodo Sensorial .....                     | 13 |
| <b>Figura 4-1</b>  | Topología de la Red.....                              | 14 |
| <b>Figura 5-1</b>  | Topología en Estrella.....                            | 15 |
| <b>Figura 6-1</b>  | Topología en Malla.....                               | 15 |
| <b>Figura 7-1</b>  | Topología Malla-Estrella .....                        | 16 |
| <b>Figura 8-1</b>  | Un tipo de Cabeceer 6LoWPAN.....                      | 17 |
| <b>Figura 9-1</b>  | Estructura de la PPDU .....                           | 23 |
| <b>Figura 10-1</b> | Estructura General de la Trama MAC .....              | 24 |
| <b>Figura 11-1</b> | Conexiones mínimas requeridas para el XBEE .....      | 25 |
| <b>Figura 12-1</b> | Módulos RF XBee .....                                 | 27 |
| <b>Figura 13-1</b> | Módulos RF XBee PRO .....                             | 27 |
| <b>Figura 14-1</b> | Modos de Operación de un módulo XBee .....            | 28 |
| <b>Figura 15-1</b> | Partes básicas de una placa Arduino .....             | 32 |
| <b>Figura 16-1</b> | Escala del PH.....                                    | 43 |
| <b>Figura 17-1</b> | Entorno de programación Arduino .....                 | 45 |
| <b>Figura 18-1</b> | Entorno de programación Labview 2014.....             | 46 |
| <b>Figura 19-1</b> | Entorno de programación <i>Atlas Scientific</i> ..... | 47 |
| <b>Figura 20-1</b> | Funcionamiento del simulador NS-2 .....               | 48 |
| <b>Figura 21-1</b> | Ventana principal de X-CTU .....                      | 49 |
| <b>Figura 1-2</b>  | Alternativas para pH .....                            | 54 |
| <b>Figura 2-2</b>  | Sensor de PH.....                                     | 54 |
| <b>Figura 3-2</b>  | Vista trasera y frontal del conector BNC .....        | 54 |
| <b>Figura 4-2</b>  | Circuito de pH .....                                  | 55 |
| <b>Figura 5-2</b>  | Soluciones de calibración y almacenamiento.....       | 55 |
| <b>Figura 6-2</b>  | Alternativas para ORP .....                           | 58 |
| <b>Figura 7-2</b>  | Sensor -40-ORP.....                                   | 58 |
| <b>Figura 8-2</b>  | Circuito de ORP .....                                 | 58 |
| <b>Figura 9-2</b>  | Soluciones de calibración y almacenamiento.....       | 59 |
| <b>Figura 10-2</b> | Porcentaje para DO.....                               | 61 |
| <b>Figura 11-2</b> | Sensor-40-DO atlas .....                              | 62 |
| <b>Figura 12-2</b> | Circuito de DO .....                                  | 62 |
| <b>Figura 13-2</b> | Dispositivos adicionales de DO .....                  | 62 |

|                    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| <b>Figura 14-2</b> | Alternativas para EC.....  | 65  |
| <b>Figura 15-2</b> | Sensor ENV-40-EC-K1.0 .....                                      | 65  |
| <b>Figura 16-2</b> | Circuito de EC.....  | 66  |
| <b>Figura 17-2</b> | Soluciones de calibración .....                                  | 66  |
| <b>Figura 18-2</b> | Estructura de programación en el Simulador NS-2.....             | 75  |
| <b>Figura 1-3</b>  | Diagrama de bloques del prototipo Inalámbrico .....              | 81  |
| <b>Figura 2-3</b>  | Xbee Explorer USB .....  | 78  |
| <b>Figura 3-3</b>  | Configuración del puerto .....                                   | 83  |
| <b>Figura 4-3</b>  | Configuración módulo Xbee como coordinador.....                  | 84  |
| <b>Figura 5-3</b>  | Diagrama esquemático nodo coordinador.....                       | 80  |
| <b>Figura 6-3</b>  | Diagrama de conexiones nodo coordinador.....                     | 85  |
| <b>Figura 7-3</b>  | Dispositivo final nodo coordinador.....                          | 85  |
| <b>Figura 8-3</b>  | Arquitectura del nodo coordinador .....                          | 82  |
| <b>Figura 9-3</b>  | Comandos de calibración para la sonda de pH .....                | 88  |
| <b>Figura 10-3</b> | Comandos de calibración para la sonda de ORP.....                | 88  |
| <b>Figura 11-3</b> | Comandos de calibración para la sonda de DO.....                 | 89  |
| <b>Figura 12-3</b> | Comandos de calibración para la sonda de CE .....                | 89  |
| <b>Figura 13-3</b> | Diagrama de cableado de embebidos y multiplexor.....             | 89  |
| <b>Figura 14-3</b> | Configuración módulo Xbee como mota .....                        | 91  |
| <b>Figura 15-3</b> | Diagrama esquemático nodo sensorial.....                         | 91  |
| <b>Figura 16-3</b> | Diagrama de conexiones nodo sensorial .....                      | 92  |
| <b>Figura 17-3</b> | Dispositivo final nodo sensorial.....                            | 93  |
| <b>Figura 18-3</b> | Portada de la aplicación en Labview.....                         | 94  |
| <b>Figura 19-3</b> | Ubicación del nodo sensorial en el tanque San Jose de Tapi ..... | 94  |
| <b>Figura 20-3</b> | Ubicación del nodo sensorial en el tanque Saboya .....           | 95  |
| <b>Figura 21-3</b> | Resultados en el punto 1 de la medición de PH .....              | 96  |
| <b>Figura 22-3</b> | Resultados en el punto 2 de la medición de PH .....              | 96  |
| <b>Figura 23-3</b> | Resultados en el punto 1 de la medición de ORP.....              | 97  |
| <b>Figura 24-3</b> | Resultados en el punto 2 de la medición de ORP.....              | 97  |
| <b>Figura 25-3</b> | Resultados en el punto 1 de la medición de DO.....               | 98  |
| <b>Figura 26-3</b> | Resultados en el punto 2 de la medición de DO.....               | 98  |
| <b>Figura 27-3</b> | Resultados en el punto 1 de la medición de EC .....              | 99  |
| <b>Figura 28-3</b> | Resultados en el punto 2 de la medición de EC .....              | 99  |
| <b>Figura 29-3</b> | Resultados en el punto 1 de la medición de TDS.....              | 97  |
| <b>Figura 30-3</b> | Resultados en el punto 2 de la medición de TDS.....              | 100 |
| <b>Figura 31-3</b> | Resultados en el punto 1 de la medición de salinidad .....       | 101 |
| <b>Figura 32-3</b> | Resultados en el punto 2 de la medición de salinidad .....       | 101 |

|                    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| <b>Figura 33-3</b> | Portada de ingreso a la aplicación.....        | 106 |
| <b>Figura 34-3</b> | Interfaz de monitoreo de calidad de agua ..... | 106 |
| <b>Figura 35-3</b> | Información del puerto y voltaje.....          | 107 |
| <b>Figura 36-3</b> | Tablas de obtención de datos .....             | 107 |
| <b>Figura 37-3</b> | Reportes de errores y diarios .....            | 108 |
| <b>Figura 38-3</b> | Figuras de datos registrados.....              | 108 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                |  |
|----------------|--|
| <b>Anexo A</b> | Datasheet módulo versión Xbee Pro 2,4 GHz    |
| <b>Anexo B</b> | Código de simulación en Ns_2                 |
| <b>Anexo C</b> | Código en Arduino nodo coordinador           |
| <b>Anexo D</b> | Código en Arduino nodo sensorial             |
| <b>Anexo E</b> | Comandos de operación de circuitos embebidos |
| <b>Anexo F</b> | Características de sensores                  |

## RESUMEN

Se diseñó e implementó un prototipo Inalámbrico IPv6 para comprobar la calidad de agua en Smart Cities. En este trabajo se conocieron variables necesarias para obtener datos en tiempo real, basados en los parámetros del TULSMA y en la Norma Ecuatoriana INEN 1108 sobre agua potable. Para el desarrollo del prototipo se usó una metodología de comparación entre los distintos parámetros que establecen la calidad de agua, con el fin de determinar los sensores de mayor prioridad, dando como resultado preliminar la importancia de conocer: potencial de hidrógeno, potencial de oxígeno reducción, oxígeno disuelto y conductividad. La comunicación se desarrolló mediante el protocolo 6LoWPAN basado en el estándar del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE 802.15.4, donde los dispositivos podrán conectarse al Internet con direcciones IPV6, dando lugar a lo que se conoce como el Internet de las cosas IoT. Los resultados obtenidos determinaron un porcentaje de efectividad del 100% con la aplicación del prototipo, comparado con los métodos tradicionales que requieren un contacto directo del responsable del laboratorio de análisis para la toma de muestras. Se concluye que el agua potable que consumen los habitantes de la ciudad de Riobamba, a través de la distribución de los tranques de EP-EMAPAR está dentro de los parámetros permitidos. Se recomienda que este sistema sea usado por los GAD Municipales como una herramienta de automatización y monitoreo para comprobar la calidad del agua en tiempo real debido a su seguridad, eficacia y costo.

**PALABRAS CLAVES:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DE COMUNICACIONES>, <PLATAFORMA ARDUINO>, <SOFTWARE LABVIEW>, <PROTOCOLO 6LoWPAN>, <NORMA INEN 1108>, <CALIDAD DE AGUA>, <EMPRESA PÚBLICA - EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE RIOBAMBA (EP-EMAPAR)>.

## ABSTRACT

It was designed and implemented a prototype Wireless IPv6 to check the quality of water in Smart Cities. In this research we met the necessary variables for real-time data, based on the parameters TULSMA - INEN 1108 of the water company. For the development of the prototype a methodology to compare different water PH sensors was used, in order to determine the best alternative, giving as a preliminary result: potential of hydrogen, oxygen reduction potential, dissolved oxygen and conductivity. The Communication was developed by 6LoWPAN protocol based on the standard of the Institute of Engineers Electronic and Electrical IEEE 802.15.4, where the devices will be connected to the internet with IPV6 addresses, it giving rise to what is known as the internet of things. The results determined a high percentage of effectiveness of 100% with the application of the prototype, compared with Lab-Cesta that takes 15 days to give a result. It is concluded that drinking water consumed by the inhabitants of the city of Riobamba, through the distribution of tanks EP-EMAPAR. It is within the allowed parameters and is considered suitable for human consumption, obtaining real time data. It is recommended that this system should be used by the Municipal GADS as a tool for monitoring water quality due to its safety, efficacy and cost.

Key words: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES >, <COMMUNICATIONS TECHNOLOGY>, < ARDUINO PLATFORM >, <LABVIEW SOFTWARE>, <6LOWPAN PROTOCOL>, <STANDARD INEN 1108>, <WATER QUALITY>, <WATER AND SEWERAGE PUBLIC WATER SUPPLY ENTERPRISE (EP-EMAPAR)>.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las redes han revolucionado la forma en que las personas intercambian información y coordinan sus actividades. Gracias a los últimos avances tecnológicos, existen sensores de bajo consumo energético que además procesan información de forma local y con la ayuda de las comunicaciones inalámbricas se puede elaborar Redes de Sensores Inalámbricas (WSN) para muchas aplicaciones.

El estándar IEEE 802.15.4 ha permitido el desarrollo de redes inalámbricas de sensores para múltiples soluciones en varios ambientes, ya que los sensores actúan como recolectores de datos significativos para ser analizados.

El uso de direcciones IPv4 en nuevos proyectos se está delimitando, pues el desarrollo tecnológico nos facilita un nuevo estándar llamado IPv6. Una de las características principales de este nuevo estándar es el gran número de direcciones a disposición, dando lugar así a lo que se conoce como Internet de las cosas (IoT), que consiste en asignar direcciones a dispositivos electrónicos, siendo capaces de recoger información, procesarla y compartirla.

6LoWPAN es un conjunto de mecanismos o técnicas para comprimir direcciones IPv6 y es beneficioso para aplicaciones de automatización. Se han definido mecanismos de encapsulación y compresión de cabecera que permiten a los paquetes IPv6 ser enviados y recibidos en redes basadas en el estándar IEEE 802.15.4.

Es notable la falta de interés por parte de las autoridades a las prácticas ambientales, como por ejemplo la escases de ejecución de procesos de saneamiento para la calidad de agua que se está consumiendo, es por esto que el presente trabajo se enfoca en el desarrollo de una red de sensores inalámbrica para analizar parámetros relevantes que determinen la calidad del agua.

Con las pruebas realizadas y la información recolectada en este trabajo, se podrá mejorar la manera en que la empresa realiza el proceso de control de calidad del agua, para brindar un mejor servicio a sus usuarios, lo que propone el presente proyecto es una monitorización inalámbrica de los parámetros más relevantes a analizarse, obteniendo datos cada hora sin necesidad de acudir personalmente hasta los tanques distribuidores del líquido vital que se encuentran a una distancia considerable.

A partir de la integración de tecnologías, se diseñará y se implementará una red de sensores usando la tecnología 6LoWPAN y sensores para medir el nivel de: potencial de hidrógeno, potencial de óxido reducción, oxígeno disuelto y conductividad presente en el agua, se usará hardware libre Arduino con módulos XBee, permitiendo así el envío de los datos obtenidos desde los tanques de distribución a una estación central fija.

El dispositivo receptor trabajará con un sistema de transmisión inalámbrico y una interfaz gráfica desarrollada en el lenguaje de programación Labview, emitiendo una alerta en caso de existir un parámetro fuera de sus límites permisibles y generando reportes cada hora.

### **Objetivo General:**

Diseñar e implementar un prototipo Inalámbrico IPV6, que permita comprobar la calidad de agua en Smart Cities.

### **Objetivos Específicos:**

- ✚ Estado del arte acerca del Internet de las cosas IoT, relacionadas a Smart Cities.
- ✚ Analizar la tecnología 6LoWPAN dentro de las redes de sensores inalámbricos WSN.
- ✚ Investigar los diferentes métodos Inalámbricos que permita comprobar la calidad de agua.
- ✚ Estudiar los parámetros de calidad de agua que utiliza la EP EMAPAR.
- ✚ Diseñar el Prototipo Inalámbrico IPV6 que permita comprobar la calidad de agua en tiempo real.
- ✚ Implementar el Prototipo Inalámbrico en EP EMAPAR para comprobar la calidad de agua.
- ✚ Analizar los resultados de funcionamiento del sistema implementado en EP EMAPAR.

## **Problema**

El Agua es un componente abiótico que está presente en nuestro entorno y es indispensable para la vida, en la actualidad no se dispone de un sistema de monitoreo constante del agua para sus múltiples usos y en especial si está destinada al consumo humano.

Las Empresas y GADS Municipales encargados de proveer el líquido vital a cada uno de los hogares, realizan estudios del agua solamente una vez al mes y en el mejor de los casos una vez por semana, además requiere que la muestra sea llevada hacia el laboratorio especializado para realizar los respectivos estudios físico-químicos, generando una pérdida de recursos y tiempo.

La población consume el agua por necesidad con un índice alto de incertidumbre en cuanto a la calidad del líquido vital que están usando para sus actividades diarias de aseo, consumo, trabajo, entre otros usos.

Frente a esta problemática descrita se plantea una interrogante que podrá brindar una solución con el fin de dar confiabilidad a la empresa proveedora de agua y una mejor aceptación por parte de la población.

¿Es necesario para la población la existencia de un prototipo Inalámbrico IPV6, que permita comprobar la calidad del agua de consumo humano?

## **Sistematización del Problema**

- ❖ ¿Cómo saber si el agua que llega a nuestros hogares, esta óptimas condiciones para el consumo humano?
- ❖ ¿De qué manera influye en la sociedad la existencia de un sistema que permita comprobar la calidad de agua?
- ❖ ¿Qué impacto tendrá dicho prototipo Inalámbrico en la vida cotidiana de las personas?
- ❖ ¿Las mediciones obtenidas están dentro de los parámetros establecidos en el Libro VI Anexo 1 del Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA) y de las Normas INEN 1108?

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Internet de las Cosas

Internet de las cosas o bien conocido con las siglas IoT definido por la UIT y IERC como una “dynamic global network infrastructure”

Es una nueva tendencia que posibilita la conexión de cada componente que nos rodea hacia la red global internet, a través de varias tecnologías de comunicación e información, la idea de las IoT es controlar de manera remota cada elemento desde un Smartphone o algún servidor que tenga acceso a internet.

Así lo menciona (Cisco, 2011): IoT conocido como Internet of Things, ha causado impacto en el ámbito educativo, en la comunicación, negocios, ciencia, gobierno y la sociedad en general. Siendo IoT una representación de la siguiente evolución de internet, se está presentando varios casos de estudio de proyectos relacionados con este avance, dichos proyectos están resolviendo problemas de la población.

El objetivo de esta nueva evolución es la convergencia de múltiples factores como: hardware libre, sensores de medición, comunicaciones inalámbricas o móviles, plataformas IoT, con la finalidad de conectar varios objetos autónomos a la red global.

Se prevé que para el 2020 alrededor de 50.000 millones de dispositivos alrededor de todo el mundo estarán conectados a la Red.

##### *1.1.1 Características y Avances*

Entre las principales características tenemos:

## Inteligencia

Los objetos que se conectan a internet deben tener cierto grado de inteligencia para interrelacionarse entre sí.

## Tipo de Sistema

Internet of things estará basado en sistemas complejos, porque utilizará semi-bucles, tanto abiertos como cerrados para su desarrollo, además se considera un sistema TI en forma paralela masiva.

Gracias al internet de las cosas, hoy en día el alcance a internet es más accesible. Dicho de otra manera se ha convertido en un servicio básico. En la *Tabla 1-1* se visualiza los avances que se han venido surgiendo en los últimos tiempos.

**Tabla 1-1:** Ejemplos de Objetos IoT.

| AVANCE            | DESCRIPCIÓN   |
|-------------------|---|
| Kolibree          | Cepillo inteligente detecta si los dientes se han cepillado bien              |
| iGrill Mini       | Termómetro que determina la cocción de la carne                               |
| WeMo              | Permite encender y apagar los dispositivos eléctrico con un Smartphone        |
| Vaso Vessyl       | Vaso inteligente calcula la composición nutricional del líquido interior.     |
| Vitality GlowCaps | Pastillero que ayuda a su dueño a tomar la medicación a los horarios exactos. |

Realizado por: YUMI, Sandra, 2016.

### **1.1.2 Seguridad en IoT**

IoT, considera asegurar las plataformas de posibles ataques por terceras personas, para ello es necesario imponer ciertas soluciones en donde se pretende proteger las aplicaciones y los dispositivos, buscar anomalías en todo el sistema y corregir errores de manera remota. (SYMANTEC, S.F.)

Para lograr establecer un algoritmo de seguridad en el sistema IoT se deber considerar los siguientes parámetros:

#### **Seguridad en los dispositivos**

Bloquear el acceso a personas o dispositivos no autorizados.

#### **Autorización de códigos**

Verificar los códigos que se establecen en cada dispositivo con el método de autenticación. Una de las visiones que se tiene para el futuro es la actualización del software de cada dispositivo de manera remota, así como también, se pretende realizar un algoritmo que permita el análisis más sofisticado de todo el sistema IoT.

### **1.1.3 Aplicaciones**

IoT da uso a la tecnología para crear plataformas, aplicaciones y dispositivos que contribuyen al estilo de vida, seguridad, protección del medio ambiente, ahorro de energía entre otros. (MAROTO P., 2013)

Ya se cuenta con varios dispositivos o prototipos que pretenden cumplir estas tareas. A continuación se presentan los más relevantes escenarios de aplicaciones IoT.

### ***Casas Inteligentes***

El objetivo de tener una casa inteligente es brindar un aporte a las viviendas de nuestra sociedad en varios ámbitos como el ambiente de vida y confort.

Para esto se debe empezar con una solución de mejora en el uso del agua y la energía, que, si bien es cierto, son necesarias para la humanidad, pero se ha detectado en los últimos tiempos el abuso de los mismos. Otra de las mejoras que se puede dar a un hogar es la seguridad, como: alerta de incendio, entrada no autorizada, etc.

### ***Transporte y Logística***

IoT proporciona varias ventajas en cuanto a la gestión de ventas y suministro de operaciones en su manera global así como también lograr identificar de manera automática las mercancías que se están transportando, hoy en día gracias a las plataformas IoT podemos contar con la comprobación automática de la entrada de bienes en tiempo real.

### ***Salud***

En el sector de la salud las plataformas IoT desempeñan aplicaciones como: monitorización de los parámetros médicos, administración de fármacos, prevención y control de ciertas enfermedades que se puedan producir en las personas, mejorar los horarios de atención médica, ya que los pacientes tendrán un nivel de privilegio dependiendo del tipo de emergencia como personas con enfermedades del corazón, derrame cerebral, alteraciones cognitivas etc.

### ***Ciudades Inteligentes***

Se trata de una zona urbana que pretende mejorar la calidad de vida y distribuir los recursos que posee una ciudad de manera eficiente e inteligente. Las ciudades inteligentes se valen de la ayuda de las redes integradas, sensores y sistemas inteligentes.

Para poder establecer aplicaciones como estacionamiento inteligente, controlar la cantidad de tráfico en una ciudad con la finalidad de buscar rutas alternas, contaminación acústica, comprobación de calidad de agua, entre otros.

#### **1.1.4 Relación entre IoT y Smart Cities**

Ciudades Inteligentes o Smart Cities es un tema que no se puede conceptualizar ya que su significado cubre muchas aplicaciones. Una de las principales aplicaciones de una Smart City es la interacción entre cosas y la calidad de vida de las personas que viven en una ciudad, con el fin de dar soluciones sostenibles y rentables, mejorando la calidad de vida de las personas que habitan en ella.

Como lo mencionan (MUÑOZ, 2015). Actualmente hay 13 millones de elementos conectados a la Web. Es por eso que las Ciudades Inteligentes son las que más influyen para el crecimiento de las IoT. Un ejemplo son los países de Europa como Reino Unido y España que han empezado con un sinnúmero de proyectos que han solucionado necesidades básicas como alumbrado y recogida de residuos.

Para el 2050, la ONU espera que más del 70% de la población este concentrada en las ciudades, permitiendo que en los centros poblados se desarrollen un sinnúmero de sistemas IOT que beneficien a sus ciudadanos.

El crecimiento de una ciudad exige la capacidad de prever soluciones, con un plan que cubra las necesidades del mañana. Cada ciudad es un sistema único por lo que la solución aplicada en cada una de estas variara según los parámetros que se desee trabajar. Para el desarrollo de una ciudad sostenible se necesita varios elementos como son: Tecnología, Sociedad, Iniciativa Privada y pública y demás organizaciones que deseen formar parte del cambio.

#### **1.1.5 Ecuador y las Smart Cities**

Empresas internacionales han identificado en nuestro país oportunidades de negocio para el sector de Smart Cities, encontrando como potenciales clientes a las instituciones públicas y entes administradores del territorio ecuatoriano. Las actividades prometedoras son potabilización de agua, alcantarillado, tratamiento de la basura, turismo y prevención de desastres.

El crecimiento económico de Ecuador en los últimos años ha sido prospero sin dejar de lado sus desequilibrios como la depreciación del dólar y petróleo que lo han azotado. En esta etapa de crecimiento se ha dado las condiciones adecuadas para que las instituciones públicas puedan utilizar tecnologías IoT para suplir servicios de carácter básico. (El UNIVERSO, 2015)

Para darse a conocer las ofertas y demandas de Smart City, en la ciudad de Quito se organizaron las Jornadas Españolas de Smart Cities en Octubre del 2015, en donde se presentaron algunas empresas españolas dedicadas a ofrecer soluciones inteligentes. Como participantes fueron los ayuntamientos de algunos municipios de las principales ciudades del Ecuador, como son Quito, Guayaquil, Cuenca y de algunas provincias del Ecuador.

#### **1.1.6      *Redes de Sensores Inalámbricas***

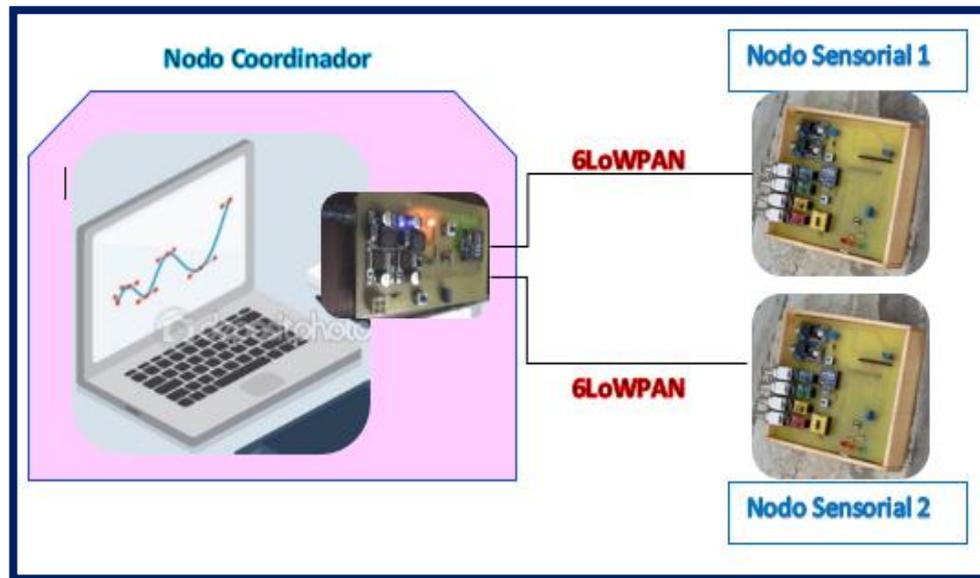
Se conoce como Redes de Sensores Inalámbricas (Wireless Sensor Networks), a redes de pequeños dispositivos autónomos, distribuidos físicamente para la monitorización, está formada por varios nodos sensores instalados alrededor de un fenómeno para ser monitoreado, con la capacidad de almacenar y comunicar datos en una red en forma inalámbrica .

Cada nodo sensor pueden receptar información de un fenómeno natural (temperatura, humedad, estados ambientales) poseen bajo costo de implementación, además permiten tener una máxima eficiencia en la gestión y el consumo de energía, esto se debe a que la información solo se envía cuando existe un cambio en uno de los sensores y no constantemente todo el tiempo.

Los nodos pueden ser móviles o estacionarios las redes se colocan en áreas específicas, especialmente éstas fueron diseñadas para estar colocadas en lugares en donde no existe energía eléctrica o ésta es escasa.

Las WSN tienen propiedades específicas como la auto-organización, auto-configuración, auto-restauración, auto-diagnóstico, y reparación con la finalidad de resolver problemas que con otras tecnologías no se podía resolver, estas redes no tienen intervención humana es decir que permanecen desatendidas, resuelven un problema concreto ya que son construidas como redes ad-hoc.

“Una red-ad hoc es una red formada sin ninguna administración central o no hay un nodo central, sino que consta de nodos móviles que usan una interface inalámbrica para enviar paquetes de datos” (Mercado et al., 2014: p.1).



**Figura 1-1** Red de Sensores Inalámbrica para calidad de agua.

Fuente: YUMI, Sandra, 2016.

### 1.1.6.1 Características de las Redes de Sensores

La red de sensores posee capacidad de autodiagnóstico, si un nodo se avería, esta buscara una nueva vía por donde se enviaran el paquete de datos a esto se lo conoce como auto-restauración.

Las WSN pertenecen al grupo de redes inalámbricas de área personal de bajo nivel de tráfico, cuando recién se empezó con la implementación de este tipo de redes solo se aplicaba en lugares pequeños donde no había mucho tráfico en el momento de enviar y recibir información.

Algunas de las características importantes de las redes de sensores son el bajo consumo de energía, facilidad el momento de la implementación, baja transmisión de datos, a continuación se presenta otras de las características que hacen que este tipo de red sea importante.

## **Disponibilidad del Canal**

Pueden ocurrir diferentes fenómenos que puede producir errores en la obtención de datos como la atenuación, interferencia, desvanecimientos rápidos y lentos debido a que el canal radio es un canal variable.

## **Cantidad de Nodos**

“Las WSN pueden tener miles de nodos finales conectados entre sí que recibirán la información para procesarle, estos pueden trabajar a una velocidad de 250 kbps” se va a tener un ancho de banda bajo, eso no tiene importancia ya que se puede añadir más nodos proporcionando así mayor cobertura para toda la red (García, 2010, p.35).

## **Bajo Costo**

Ya que es una red en la que la recolección de los datos solo se da en intervalos de tiempo y no permanentemente no se requiere un procesamiento extremo en los dispositivos permitiendo que su implementación sea fácil y sencilla. Es relativamente barato en comparación con otras tecnologías, se debe a que tanto en la estación base como en los nodos finales el hardware y software son sencillos, fáciles de encontrar y en cuanto a su costo no es elevado.

## **Tolerancia a Errores**

Dentro de una red de sensores los elementos deben estar dispuestos a seguir con el funcionamiento, si uno de ellos para de funcionar por algún error ocurrido los demás continuaran, permitiendo así que esta no se detenga para evitar problemas en toda la red.

## Energía

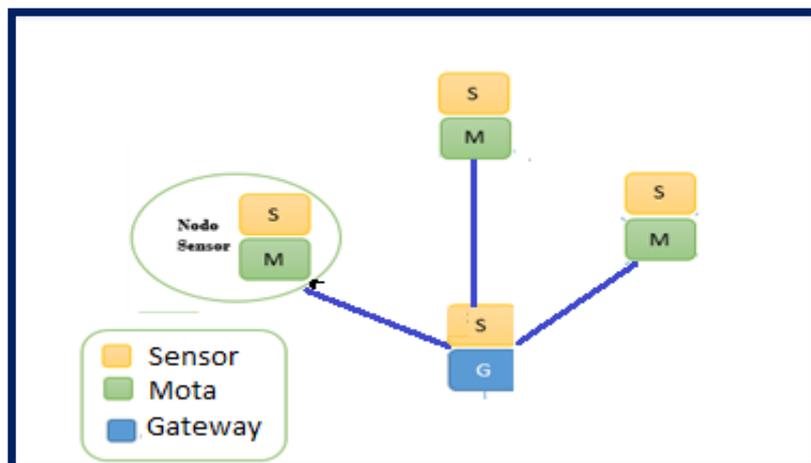
Ya que la red de sensores inalámbrica está diseñada más para lugares en donde no existe energía, esta se puede tomar del ambiente mediante paneles solares, o a través de baterías recargables, el consumo de energía de las redes de sensores se considera baja y eficiente.

### 1.1.6.2 Elementos de las WSN

La Red de sensores Inalámbrica está conformada por elementos como: nodos sensoriales (motas), Gateway o nodo controlador y software.

Los nodos están ubicados de forma espacial, establecen una conexión con sensores para monitorear el entorno o el equipo que esté conectado.

Los datos recolectados son enviados de manera inalámbrica al Gateway o nodo coordinador, el cual puede conectarse a un sistema donde se analiza y procesa la información utilizando un software que permitirá observar los resultados.



**Figura 2-1** Arquitectura de una WSN

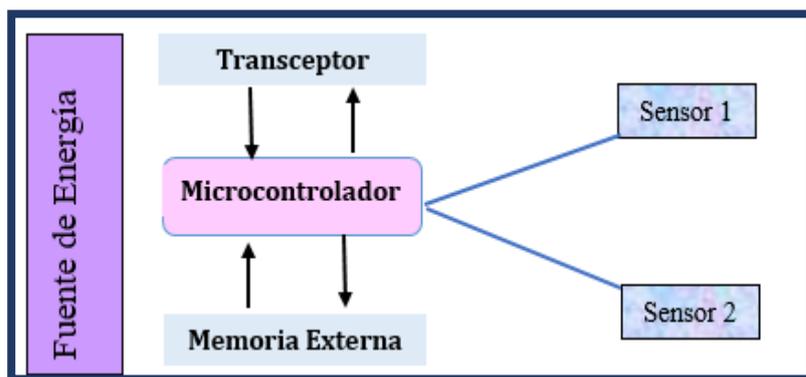
Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### 1.1.6.3 Nodos Sensoriales (Motas)

Toman información del sensor, está formado por un microcontrolador, sensores, un radio de baja potencia esto esta alimentado por una fuente independiente de energía, las motas tienen la capacidad de reorganizarse en un determinado tiempo.

Los sensores son pequeños dispositivos capaces de recibir información del entorno y transformarla en información que sea entendible y manipulable para el ser humano.

Se puede añadir nodos en cualquier lugar sin tener que configurarlos nuevamente ya que estos se añaden dinámicamente, tiene una gran disponibilidad ya que si algún nodo deja de funcionar o desaparece, la red no deja de funcionar ya que esta busca caminos alternativos por donde enviar la información.



**Figura 3-1** Partes de un Nodo Sensorial

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Las partes de un nodo sensorial son:**

#### **Microcontrolador**

Se encarga de controlar los componentes del nodo además de procesar los datos y realizar las tareas. Los microcontroladores son dispositivos que cubren algunas necesidades en el nodo, es flexible en la conexión con otros dispositivos, solo una parte puede estar funcionando y el resto quedar en hibernación, no presenta dificultad a la hora de programar.

## **Transceptor**

Pueden realizar cuatro estados diferentes, transmiten reciben, se encuentra desocupado e hibernado, en un nodo el receptor y el transmisor se encuentra en un mismo punto de conexión.

## **Memoria Externa**

La memoria más importante es la propia memoria del microcontrolador, la memoria flash también es utilizada debido a su gran capacidad de almacenamiento y a su bajo coste.

## **Fuente de Energía**

La energía es almacenada en baterías sean estas recargables o no recargables. Para tener un tiempo mayor de vida de la batería el nodo de la WSN se enciende y transmite datos alimentándose del radio, y luego se apaga para conservar la energía. El radio es una tecnología que permite que el sistema regrese al modo sleep permitiendo así tener un menor consumo de energía.

### ***1.1.6.4 Gateway***

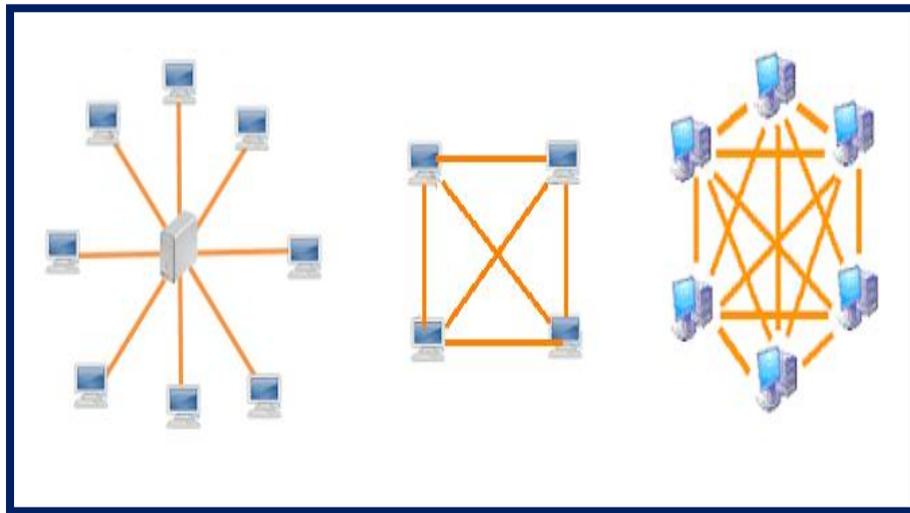
El Gateway es el encargado de recolectar los datos para analizarlos, compararlos y mostrar mediante el software escogido desde los nodos exteriores a la empresa. En una WSN se puede usar varios gateways, con conexión a un canal inalámbrico distinto. Constituye los elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red TCP/IP

### ***1.1.6.5 Estación Base***

En la estación base se encuentran todos los equipos en donde se recolecta la información en un ordenador para el entendimiento y procesamiento de la misma.

#### **1.1.6.6 Topología de Red**

Para armar una red de sensores se puede usar diferentes topologías entre las que se encuentran: estrella, malla, malla estrella.

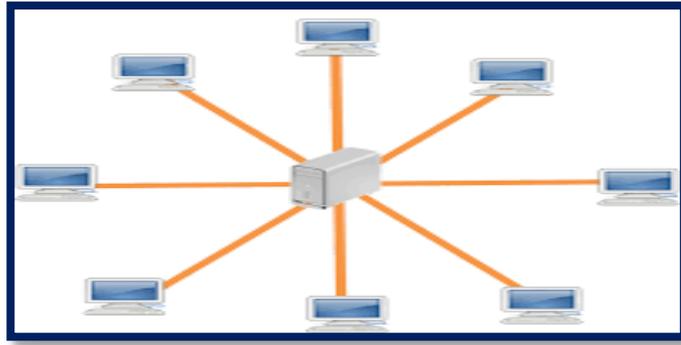


**Figura 4-1** Topología de la Red

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

#### **Topología de Estrella**

Los nodos finales se conectan directamente con el coordinador, si en algún momento se necesita una conexión entre nodos finales, uno envía sus datos al coordinador; el coordinador los recibe y reenvía los datos al nodo destinatario. Esta topología tiene un bajo consumo de energía, posee una desventaja, si un nodo sufre algún inconveniente no se tiene un camino alternativo que permita seguir enviando la información.

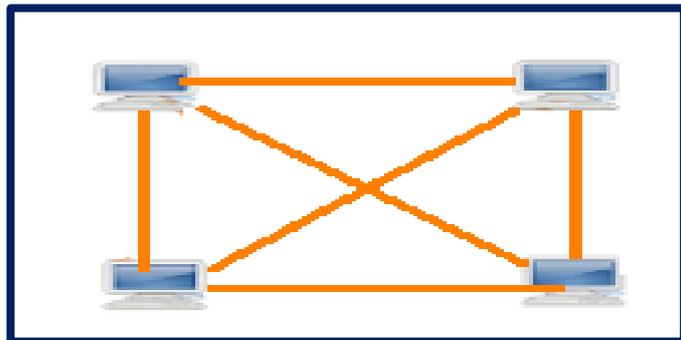


**Figura 5-1** Topología en Estrella

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### Topología Malla o Árbol

Los nodos pueden comunicarse entre sí, puede tener largos periodos de retardo en el envío de la información dependiendo del número de nodos y la distancia a la que se encuentren entre ellos, una ventaja es que incrementa la confiabilidad. En esta topología si algún nodo sufre algún desperfecto tiene la posibilidad de enviar información por otros caminos ya que los nodos tienen diferentes trayectos de enlace con el Gateway.

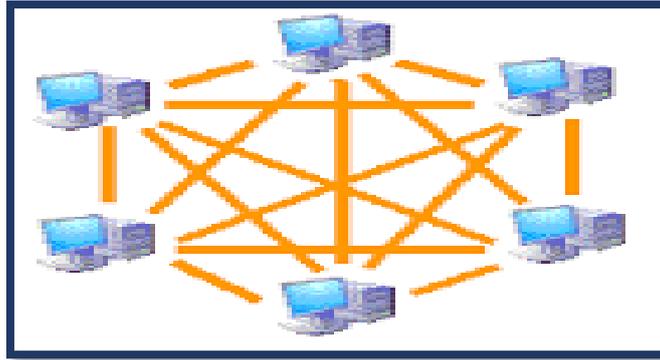


**Figura 6-1** Topología en Malla

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### Topología de Malla Estrella

Posee características de las topologías anteriores, si algún nodo falla tiene la posibilidad de elegir otro camino de comunicación, además tiene bajo consumo de energía.



**Figura 7-1** Topología Malla-Estrella

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## 1.2 Protocolo IPv6

IPv6 es una versión actual del protocolo IP del modelo TCP/IP, diseñado para reemplazar a la versión 4 que tiene más del 90% de sus direcciones agotadas, lo que limita el crecimiento y uso del internet.

Por otro lado la versión 6 del protocolo IP posee una cantidad de direcciones inmensa, esto quiere decir que tendremos alrededor 6,7x (670 mil billones) direcciones por milímetro cuadrado de la superficie de La Tierra. Tiene características como la capacidad de direccionamiento extendido, simplificación de formato de cabecera y soporte mejorado para las extensiones y opciones.

En IPv6 sus 128 bits permiten asignar más de una dirección a cada persona y objetos simultáneamente, sin embargo aún hay un punto débil: los sensores requieren ser de bajo potencia para poder durar largos periodos de tiempo.

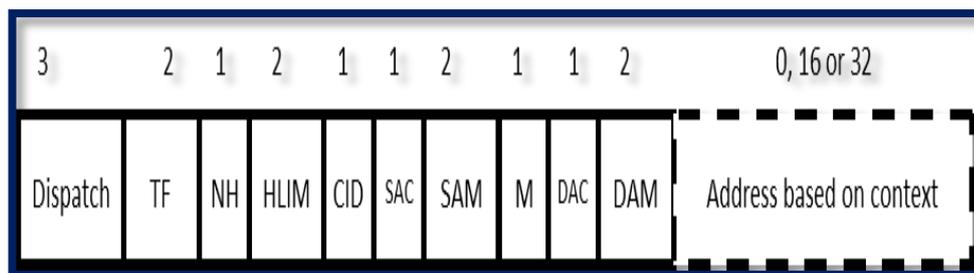
La solución es modificar IPv6 para reducir su demanda de recursos y esto se denominada IPv6 for Low Wireless Personal Area Network (6LoWPAN) y se halla definido en los RFC 4944 y RFC 6282.

La esencia es comprimir el encabezado de IPv6 de 40 bytes a 5 ó 6, modificar los mensajes del protocolo Neighbor Discovery (ND) para eliminar Multicast y reducir el uso de DAD y de generar un protocolo de enrutamiento específicamente para estas redes denominado Routing Protocol LowPower (RPL).

El encabezado de IPv6 sufre bastantes modificaciones ya que los campos de versión y longitud son eliminados. Los campos de las direcciones de origen y destino son reducidos de 128 bits a 64 ó 16 bits. Los campos de *Hop Limit*, *traffic class*, *flow label* y *next header* se conservan pero en un formato comprimido.

Después de la compresión, el encabezado de IPv6 estará conformado de 16 bits con una posibilidad de incluir la dirección de origen y/o destino además de que si el mensaje en particular es del tipo Malla, Broadcast o de fragmentación.

El encabezado resultante contendrá el payload de las capas superiores, que podrán recaer en los protocolos típicos o también en una versión comprimida de UDP que podríamos llamar 6LoWPAN UDP (6UDP) donde el principal cambio es el hecho que las direcciones de puerto también son comprimidas a 8 bits o 4, dejando solamente como valido los rangos de 0xF0yy ó 0xFOBy.



**Figura 8-1** Un tipo de cabecera 6LoWPAN.

Fuente: (Informe Protocolo Ipv6, 2013)

6LoWPAN se creó específicamente para WSN que funcionan sobre el estándar IEEE 802.15.4.

### 1.2.1 Alternativas

Existen diversas opciones inalámbricas disponibles dentro del mercado para los diseñadores. Una comparación 6LoWPAN con algunos de los estándares más usados y populares que operan también en la banda de 2.4 GHz sin licencia de acuerdo a parámetros importantes como estándar, velocidad de transmisión, consumo de energía, memoria, etc.

**Tabla 2-1** Comparación de tecnologías Inalámbricas

| <b>Características</b>                     | <b>6LoWPAN (WPAN)</b>                             | <b>Bluetooth (WLAN/WPAN)</b>    | <b>Wi-Fi (WLAN)</b>      |
|--|---|---------------------------------|--------------------------|
| <b>Estándar del MAC</b>                    | 802.15.4  | 802.15.1                        | 802.11                   |
| <b>Velocidad de transmisión</b>            | 250 kbps  | 1 Mbps                          | 54 Mbps                  |
| <b>Consumo de corriente en standby</b>     | 3 uA  | 200 uA                          | 20 mA                    |
| <b>Consumo de corriente en transmisión</b> | 35 mA   | 40 mA                           | 400 mA                   |
| <b>Aplicaciones</b>                        | Iluminación, sensores, control remoto             | Telecom, audio                  | Internet                 |
| <b>Tipo de conexión</b>                    | Red en malla, punto a punto o punto a multi-punto | Punto a multi-punto             | Punto a multi-punto      |
| <b>Nro. de Nodos por Master</b>            | 64000   | 7                               | 32                       |
| <b>Complejidad</b>                         | Sencillo  | Muy complejo                    | Complejo                 |
| <b>Parámetros más Importantes</b>          | Fiabilidad, bajo consumo y bajo coste             | Costes y perfiles de aplicación | Velocidad y Flexibilidad |

Fuente: (Mayné J, 2012)

## BLUETOOTH

Es uno de los más conocidos sistemas de comunicación inalámbrica que trabaja a una velocidad de transmisión de datos de 1 Mbps y está basado en el estándar IEEE 802.15.1. Una similitud clara entre Bluetooth y 6LoWPAN se puede observar en el consumo energético en modo de transmisión, sin embargo en modo standby el protocolo 6LoWPAN muestra un muy bajo consumo, siendo esta una gran ventaja para los diseñadores.

Puesto que los dispositivos Bluetooth necesitan enviar información a la red continuamente para mantener la sincronización, es por esto que no pueden pasar fácilmente a modo "Sleep".

## **WIFI**

Este protocolo necesita que la actividad del mismo sea permanente y casi ininterrumpida de los dispositivos en la red. Entre sus características más destacables es la capacidad de transferencia de datos que notablemente es mayor en relación a la transferencia de Bluetooth y 6LoWPAN, sin embargo para este proyecto ese no es un requisito fundamental y en cuanto al consumo de energía es demasiado elevado.

Al analizar los tres estándares de radio en cuanto al tipo de conexión, solamente 6LoWPAN permite redes en malla. En cuanto al alcance 6LoWPAN es la mejor opción y dentro de sus aplicaciones se puede observar una variedad de las mismas y no se limita a una actividad en específico. Entre los parámetros que WiFi ofrece es velocidad y flexibilidad, pero 6LoWPAN proporciona a la red fiabilidad, bajo consumo y bajo costo.

Cada diseñador o desarrollador deberá elegir la tecnología que más se acerque a las necesidades de su aplicación o proyecto, puesto que ninguno cubre los requerimientos en su totalidad pero si se podrá elegir el que más se adecue por el estándar más óptimo que permita el correcto funcionamiento de la misma.

### ***1.2.2 IPv6 sobre Redes Inalámbricas de área Personal de Baja Potencia (6LoWPAN)***

Los beneficios de usar 6LoWPAN van de la mano con las ventajas que representa el enfoque de Internet de las cosas, ya que simplifica diversos protocolos propietarios con el protocolo de Internet (IP) y así conduce a la integración de los dispositivos embebidos.

El IETF, junto al grupo de trabajo de IPv6 sobre redes de baja potencia WPAN (6LoWPAN) ha definido una capa de adaptación que especifica el formato de trama y varios mecanismos necesarios para la transmisión de paquetes IPv6 en la parte superior de las redes IEEE 802.15.4. Estas redes se denominan como LoWPANs. Los mecanismos que ofrece 6LoWPAN son:

## **Fragmentación**

IPv6 soporta paquetes de 1280 bytes y el máximo tamaño de la trama IEEE 802.15.4 es de 127 bytes.

## **Compresión de cabecera**

Puede comprimir una cabecera común IPv6 de 40 bytes a una cabecera de 2 bytes. •

### **1.3 Estándar IEEE 802.15.4**

En diciembre de 2004 fue creado el estándar IEEE 802.15.4, cuya funcionalidad principal es lograr la interconexión entre dispositivos en el cual la comunicación requiere una baja tasa de envío de datos, baja potencia y baja complejidad, actualmente se han creado nuevos módulos que permiten una comunicación a mayor distancia.

“Este estándar tiene la capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, mayor es el número de rutas alternas que existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino” (Gavidia, 2011a: p.10).

#### ***1.3.1 Arquitectura del Estándar IEEE 802.15.4***

Los estándares de la IEEE 802 identifican únicamente dos capas principales y fundamentales del Sistema Abierto de Interconexiones OSI de la Organización Internacional de Normalización ISO:

- ✓ Capa Física (PHY)
- ✓ Capa de Enlace de Datos

En la arquitectura del estándar IEEE 802.15.4, la Alianza Zigbee dirige el desarrollo de las capas superiores, por medio de la definición del perfil de aplicación. Estos perfiles hacen uso de un modelo de referencia simplificado de cinco capas de la ISO/OSI (Ruiz, 2007a: p.13).

**Tabla 3-1** Modelo ISO-OSI y Modelo del Estándar IEEE 802

| Capa | Modelo ISO-OSI<br>Siete Capas | Modelo ISO-OSI<br>Cinco capas<br>simplificadas | Modelo IEEE 802                   |
|------|-------------------------------|--|-----------------------------------|
| 7    | Aplicación                    | Aplicación                                     | Capas Superiores                  |
| 6    | Presentación                  | Perfil de Aplicación                           |                                   |
| 5    | Sesión                        |  |                                   |
| 4    | Transporte                    |  |                                   |
| 3    | Red                           | Red  | Control de Enlace Lógico<br>(MAC) |
| 2    | Enlace de Datos               | Enlace de Datos                                |                                   |
| 1    | Física                        | Física   | Física<br>(PHY)                   |

Fuente: (Ruiz M, 2007)

Realizado por: YUMI, Sandra, 2016

### 1.3.1.1 Capa Física PHY

Esta capa se basa en métodos de secuencia directa de espectro extendido (DSSS), el IEEE ofrece dos alternativas de PHY que comparten el MAC y tienen la misma estructura básica de paquetes, sin embargo la diferencia que radica entre ellas es la banda de frecuencias, la PHY de 2,4 GHz es la más utilizada a nivel mundial y utilizada en Ecuador, permite un rango de transmisión de 250 kbps soporta 16 canales y opera en la banda médica, industrial y científica (ISM), ofrece costos de manufactura más bajos (Mayné, 2012c: p.18).

**Tabla 4-1** Arquitectura del IEEE 802.15.4

**Capas Superiores de la 3 a la 7 del Modelo OSI**

|                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| IEEE 802.15.4 LL                 | Otras LLC                     |
| IEEE 802.15.4 MAC                |                               |
| IEEE 802.15.4<br>868/915 Mhz PHY | IEEE 802.15.4<br>2400 Mhz PHY |

Fuente: (Gavidia J, 2011)

❖ **Velocidades de Transmisión**

Debido a las características físicas de cada banda y a la regulación usada, el estándar IEEE 802.15.4 especifica diferentes velocidades de transmisión para las tres bandas (Ruiz, 2007b: p.13). A continuación las tasas de transmisión de cada banda:

**Tabla 5-1** Bandas y Parámetros de Operación del Estándar IEEE 802.15.4

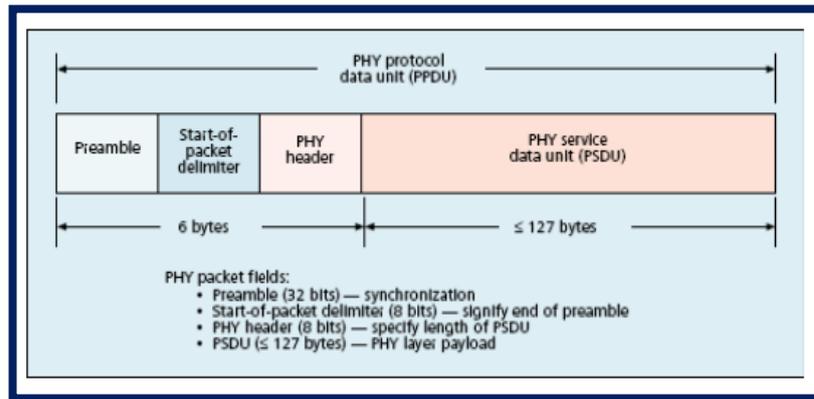
| <b>Banda</b>   | <b>Frecuencias de la Banda</b> | <b>Tasa de Bit</b> |
|----------------|--------------------------------|--------------------|
| <b>868 Mhz</b> | 868-868.6 Mhz                  | 20 kb/s            |
| <b>915 Mhz</b> | 902-928 Mhz                    | 40 kb/s            |
| <b>2.4 Ghz</b> | 2.4-2.4835 Ghz                 | 250 kb/s           |

Fuente: (Ruiz M, 2007)

❖ **Estructura del paquete de datos de PHY**

La unidad de datos de Protocolo de la capa Física (PPDU, PHY Protocol Data Unit) establece el paquete como unidad. La PPDU se encarga de encapsular todos los datos de los niveles superiores (Ruiz, 2007c: p.14). Se basan en tres componentes:

- ✓ Synchronization Header - Cabecera de Sincronización
- ✓ PHY Header – Cabecera de la Capa Física
- ✓ PHY Payload - Carga Útil de la capa Física



**Figura 9-1** Estructura de la PDU

Fuente: (Ruiz M, 2007)

### 1.3.1.2 Capa MAC

La capa MAC tiene como función principal controlar el acceso al canal de comunicación y confiabilidad en la entrega de datos, el flujo a través de reconocimientos y retransmisiones. Se caracteriza por la asociación y la disociación, reconocimientos de entrega de trama, mecanismos de acceso al canal, validación de trama, garantía del manejo de las ranuras de tiempo, y manejo de guías (Gavidia, 2011c: p.11).

En una WPAN deben existir al menos dos puntos de conexión que se comuniquen con un dispositivo que trabaja como FFD tomando el rol de nodo coordinador.

## Métodos de transferencia de datos entre dispositivos 6LoWPAN

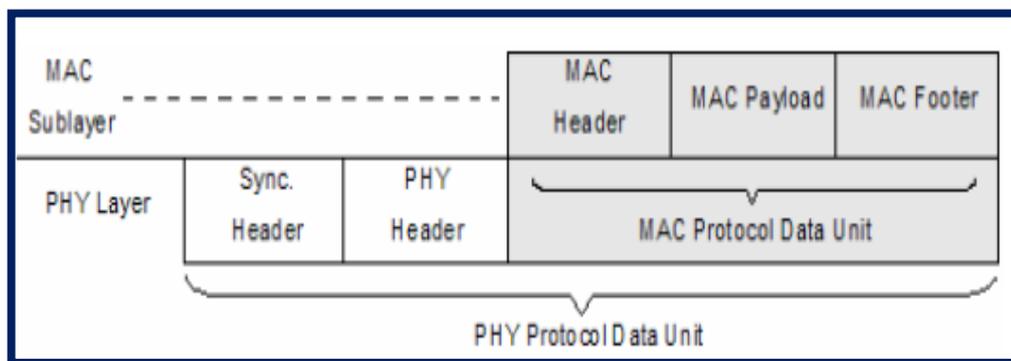
- ✓ Coordinador - Dispositivo
- ✓ Dispositivo - Coordinador
- ✓ Entre dispositivos

❖ **Estructura de la Trama MAC**

Se puede observar la flexibilidad y simplicidad del protocolo IEEE 802.15.4 a través de su estructura MAC que está conformada por:

- ✓ Frame Header - Cabecera de la trama
- ✓ Frame Payload - Carga útil de la trama
- ✓ Frame Footer – Pie de la trama

Estos componentes toman el nombre de MPDU (MAC Protocol Data Unit) o Protocolo de Unidad de Datos que luego se ensambla en el paquete de la capa física.



**Figura 10-1** Estructura General de la Trama MAC

Fuente: (Ruiz M, 2007)

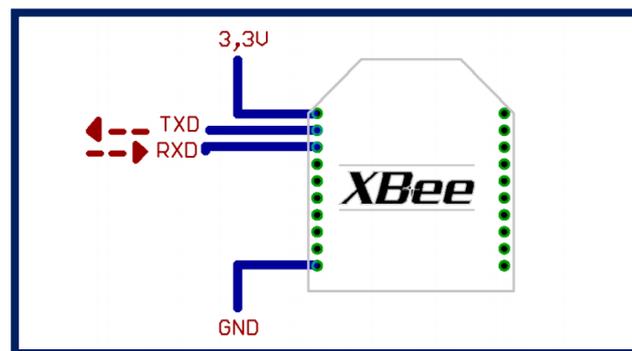
## 1.4 Módulos de Trasmisión Xbee

Los módulos de transmisión XBEE son pequeños chips creados por la empresa ubicada en Estados Unidos y fundada en 1985; que permiten la comunicación inalámbrica de unos con otros, la ventaja que tienen estos módulos, es que todos, arbitrariamente del modelo o serie, tienen los pines similares. Se encuentran en el mismo lugar la alimentación, tierra y los pines de comunicación (TX/RX), haciendo que los chip sean completamente intercambiables.

Los módulos trabajan a una frecuencia de 2.4 Ghz además su velocidad de comunicación que va desde 1200 hasta 115.200 baudios.

Estos módulos utilizan el estándar IEEE 802.15.4 para crear redes punto - multipunto y redes punto a punto. Son módulos fáciles y cómodos para usar especialmente diseñados para aplicaciones en donde hay baja latencia, sincronización de comunicación predecible y alto tráfico de datos (XBEE.CL, 2014).

A continuación en la figura 11-1 mostramos los pines que son necesarios conectar para poder utilizarlo de acuerdo con las necesidades del usuario.



**Figura 11-1** Conexiones mínimas requeridas para el XBEE

Fuente: (Oyarce A, 2010)

Un módulo Xbee requiere una alimentación desde 2.8 a 3.4 V, siendo 3,3 V el valor más recomendable para su correcto funcionamiento, además requiere una conexión a tierra y las líneas de transmisión y recepción para comunicarse directamente con un puerto serial usando un conversor de voltaje adecuado o con un microcontrolador (Oyarce, 2010, p.12).

#### **1.4.1**      *Tipos de Antenas*

Los módulos XBee necesitan de antenas para poder enviar y recibir la información, estas se acoplan dependiendo de la serie a la que pertenece.

### **Serie 1**

Está construida para utilizarlo en redes punto a punto y punto a multipunto, se basa en el chipset Freescale.

### **Serie 2**

Fueron diseñados para ser usados en aplicaciones en donde se necesitan una red mesh o repetidores, están basados en el chipset de Ember.

Tanto los módulos de la Serie 1 y la Serie 2 tienen el mismo pin-out pero, no existe compatibilidad ya que trabajan con diferentes protocolos y diferentes chipset

- **Antena de alambre**

Esta antena permite una radiación omnidireccional, sobresale del módulo tanto la transmisión como la recepción es la misma independiente de como esté ubicada la antena.

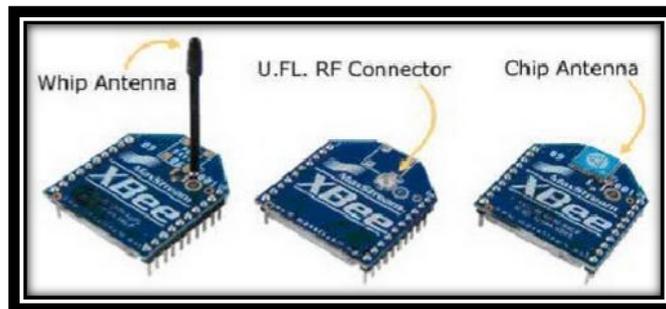
- **Antena Chip**

Es un chip que actúa como antena se usa cuando se va a ubicar en lugares que son propensos a romperse o el lugar es muy pequeño. Es sencillo, rápido y barato.

- **Antena RPSMA**

Es un enchufe de conexión más grande y voluminosa, permite acoplar una antena externa sin cable de conexión unida directamente al módulo XBee.

#### 1.4.2 Características generales de los módulos XBee, XBee PRO

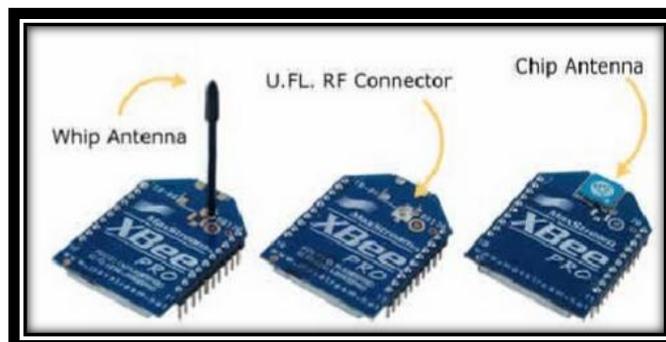


**Figura 12-1** Módulos RF XBee

Fuente: (Configuración Xbee, 2014)

Se muestra los módulos de la serie 1 con antena dipolo, tienen un alcance 30 metros en interiores y de 100 metros en exteriores. Las dimensiones de estos son:

- Ancho: 24.38 mm
- Alto de antena: 25 mm
- Largo: 27.61 mm



**Figura 13-1** Módulos RF XBee PRO

Fuente: (Configuración Xbee, 2014)

#### 1.4.2.1 *Modo AT*

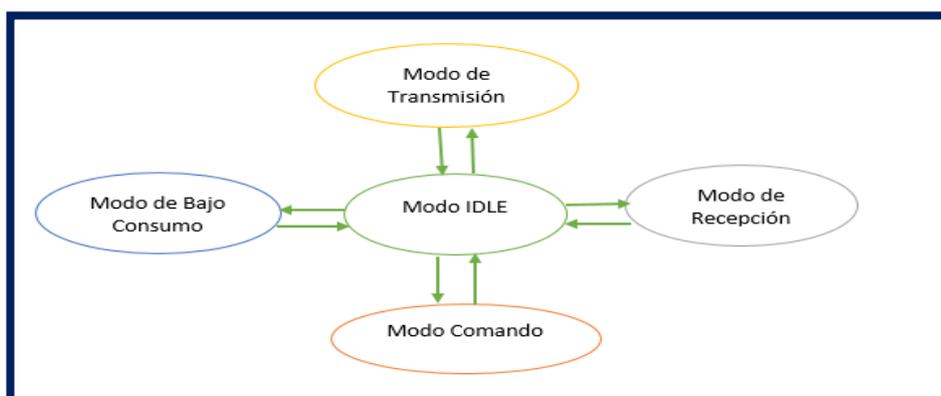
Es el modo más sencillo para poder usar este tipo de módulos, la comunicación se asemeja a la comunicación de un puerto serial, el dispositivo se encarga de crear la trama, es decir que el o los datos que lleguen al pin de transmisión (Tx) será enviado de forma inalámbrica.

El problema en este tipo de comunicación es que para enviar la información a distintos nodos es necesario ingresar constantemente al modo configuración para así cambiar la dirección del destino. Es por eso que la empresa MaxStream pone a disposición del usuario una herramienta de software gratuita llamada X-CTU con esta se puede realizar los cambios que se necesiten y programar a gusto del usuario los módulos.

#### 1.4.2.2 *Modo API*

En este modo un módulo XBee puede trabajar como repetidor de señal, para poder saber la información que se va a enviar un microcontrolador externo debe encargarse de crear una trama. En una red de topología en malla este tipo de comunicación es la óptima a ser usada.

#### 1.4.3 *Modos de operación*



**Figura 14-1** Modos de Operación de un módulo XBee

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

#### **1.4.3.1 Modo Transmisión/ Recepción**

Se habilita cuando la antena recibe información es decir cuando el pin 3 recibe información del buffer que luego será transmitida. Los modos de transmisión pueden ser directa cuando se envía la información rápidamente al destino, e indirecta cuando es retenido por un cierto tiempo y enviada únicamente cuando el destino lo requiera.

#### **1.4.3.2 Modo de bajo consumo**

El modo sleep hace posible un ahorro de energía ya que solo se habilita cuando existe envío de información es decir hay bajo consumo de energía cuando no se encuentra en uso.

Para poder entrar en el modo de sueño de debe aplicar las siguientes condiciones:

- ✓ Sleep\_RQ (pin 9) está en alto y el módulo está en pin sleep mode (SM= 1,2 o 5) (Erazo, 2015).
- ✓ El módulo está en reposo (no hay transmisión ni recepción de datos) por la cantidad de tiempo definido por ST (Time before Sleep). [ST sólo está activado cuando SM=4,5].

El comando SM es el encargado de configurar los ciclos de sueño, los modos de sueño por defecto están deshabilitados, es decir que el modulo está en reposo, el modulo siempre está preparado para responder a cualquier comando por la interfaz RF o por el puerto serial.

#### **1.4.3.3 Modo de comando**

Este modo permite ingresar comandos AT al módulo XBee para modificar parámetros, ajusta parámetros entre ellos la dirección propia o la del destino y su modo de operación entre otras cosas. Los comandos AT pueden ser ingresados por medio del Hiperterminal de Windows, algún microcontrolador que maneje UART que tenga comandos guardados y los utilice de forma adecuada, como por ejemplo el programa X-CTU 3.

Para ingresar a este modo se debe esperar un tiempo dado por el comando GT (Guard Time, por defecto ATGT=0x3E84 que equivalen a 1000ms) luego ingresar +++ y luego esperar otro tiempo GT. El módulo entregará un OK como respuesta. El módulo Xbee viene por defecto con una velocidad de 9600bps. En caso de no poder ingresar al modo de comandos, es posible que sea debido a la diferencia de velocidades entre el módulo y la interfaz que se comunica vía serial.

#### **1.4.3.4 Modo IDLE**

Este es un estado en el que se encuentra el modulo cuando no se encuentra ni transmitiendo ni recibiendo información, ni en modo sleep ni en modo comando.

### **1.5 Placas Arduino**

Arduino es una plataforma electrónica que puede ser usada por diseñadores, aficionados o cualquier interesado en crear entornos u objetos interactivos, abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores.

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software .

Las placas pueden ser hechas a mano o compradas montadas de fábrica; el software se descarga de manera gratuita y está disponible para sistemas operativos como Windows, Mac OS X, y Linux

Como ocurre con las distribuciones Linux, Arduino también cuenta con multitud de ediciones, cada una pensada para un público en particular o para una serie de tareas específicas. Existen gran variedad de modelos oficiales, no oficiales y compatibles que es normal que la gente tenga problemas al momento de elegir la correcta dependiendo para el tipo de aplicación que se la requiera (Paredes, 2014).

### ***1.5.1 Placas Oficiales***

Las placas oficiales son aquellas manufacturadas por la compañía italiana Smart Projects y algunas han sido diseñadas por la empresa estadounidense SparkFun Electronics (SFE) o por la también estadounidense Gravitech. Arduino Pro, Pro Mini y LilyPad son las manufacturadas por SFE y Arduino Nano por Gravitech, el resto se fabrican en Italia. Estas placas son las reconocidas oficialmente, incluyen el logo y son las únicas que pueden llevar la marca registrada de Arduino (Paredes, 2014).

### ***1.5.2 Placas Compatibles***

Son placas compatibles con Arduino pero no pueden estar registradas bajo el nombre de Arduino.. El desarrollo de estas placas no aporta nada al desarrollo propio de Arduino, sino que son derivados que han salido para cubrir otras necesidades. Estas frecuentemente utilizan un nombre que integra el sufijo “duino” para identificarlas, como por ejemplo Freeduino (Paredes, 2014).

Existen placas compatibles a nivel del entorno de desarrollo, es decir, solo nivel de software (pudiendo emplear Arduino IDE para programarlas). Otras placas son compatibles a nivel de hardware y eléctricamente para poder emplear los shields y módulos existentes para Arduino sin problema (Paredes, 2014).

### ***1.5.3 Características Generales***

- **Cantidad de pines**

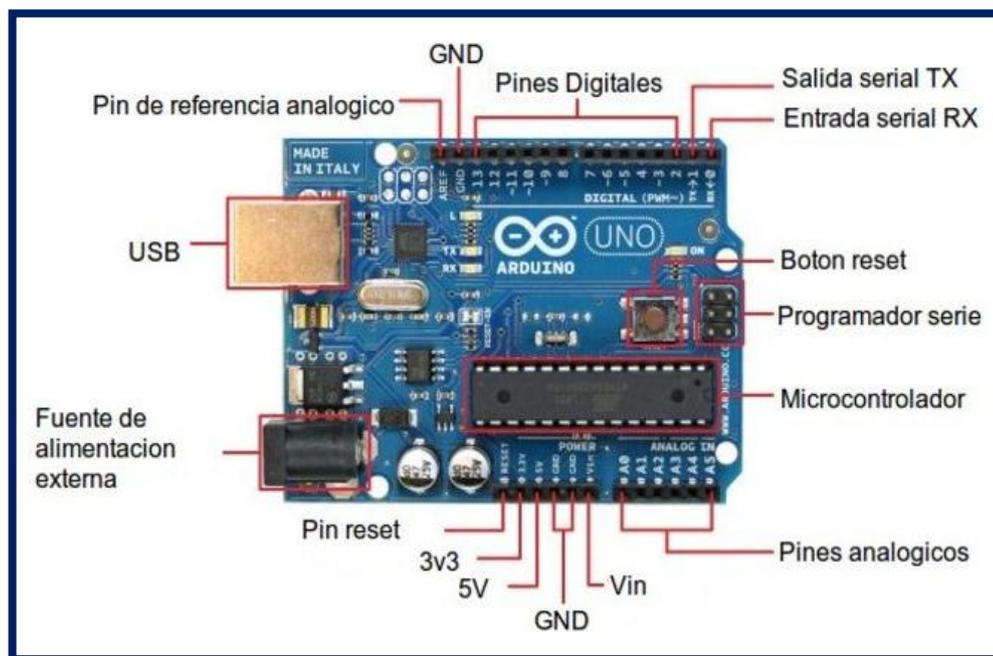
Analógicos y digitales (normales y de tipo PWM o modulados por ancho de pulso para simular una salida analógica) (Paredes, 2014).

- **Memoria RAM**

Será la encargada de cargar los datos para su inmediato procesamiento, y afectaría a la velocidad de procesamiento. La RAM va ligada al microcontrolador, puesto que ambos afectan a la agilidad de procesamiento de Arduino (Paredes, 2014).

- **Microcontrolador**

En los Arduinos oficiales se puede diferenciar entre dos tipos fundamentales de microcontroladores, los de 8 y 32 bits basados en ATmega AVR y los SMART basados en ARM de 32 bits y con un rendimiento superior, ambos creados por la compañía Atmel (Paredes, 2014).



**Figura 15-1** Partes básicas de una placa Arduino

Fuente: (Paredes I, 2014)

## 1.6 Agua Potable

El agua de consumo humano es aquella que se la puede tomar o consumir sin ningún tipo de restricción debido a que no debe contener sustancias o microorganismos que intervengan en la salud de las personas y que por lo mismo pueda provocar enfermedades; es por esto que debe pasar bajo un proceso de potabilización para que sea apta para el consumo. Se la puede obtener de fuentes naturales de manera subterránea, también de agua superficial como ríos y lagos o agua de mar.

El agua que consumimos, no está libre de cualquier bacteria como en cualquier otra sustancia. Sin embargo, la mayor parte de estas bacterias son comunes, resultan inofensivas y generalmente no afectan a la salud del ser humano. Una de las razones para que el agua tenga pequeñas cantidades de cloro es para evitar el crecimiento de bacterias en el agua de consumo para que este fenómeno no ocurra mientras el agua fluye por las tuberías de distribución.

**Tabla 6-1** Tipos de Agua

| <b>Tipos de Agua</b> | <b>Descripción</b>   |
|----------------------|--|
| <b>Potable</b>       | Puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.   |
| <b>Dulce</b>         | Tiene baja concentración de sales, generalmente considerada adecuada, previo tratamiento, para producir agua potable.  |
| <b>Negras</b>        | Agua de abastecimiento de una comunidad después de haber sido contaminada por diversos usos  |
| <b>Estancada</b>     | Agua inmóvil en determinadas zonas de un río, lago, estanque o acuífero.   |
| <b>Subterránea</b>   | Puede ser encontrada en la zona saturada del suelo, zona formada principalmente por agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos. |
| <b>Superficial</b>   | Agua natural abierta a la atmósfera, como la de ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedales.  |

Fuente: (Aveiga T, 2015, p 8.)

### **1.6.1**      *Calidad de Agua*

Es de gran importancia tener agua de calidad para el consumo humano puesto que influye principalmente en su salud, es por esto que generalmente “los países tienen reglamentos internos que están relacionadas con las aguas de consumo humano” o también llamada agua dulce. Estas políticas sirven para impartir responsabilidades a los distintos sectores involucrados en la obtención, control, monitoreo y distribución del agua potable hacia las personas.

Los países también cuentan con estatutos que definen qué se entiende por agua potable; es decir, los patrones que se deben seguir para que el agua sea inocua para la salud humana.

Entre esas reglamentaciones hay una muy concreta, que se señala como “Norma de Calidad del Agua Potable”. En donde se da a conocer las sustancias que pueden estar presentes en el agua y las concentraciones máximas permisibles para que no representen un riesgo en la salud.

Todos los países que tienen estas normas de calidad de agua usan las “Guías de la OMS para la Calidad del Agua Potable” como principal parámetro de comparación. Para la realización de estas guías se recopila información lo más actualizada posible que exista en el mundo referente a este tema; las guías son estatutos legales que se actualizan y se presentan cada 12 años aproximadamente; en el año 2004 en la ciudad de Génova se dieron a conocer las últimas directrices acordadas por la OMS.

### **1.6.2**      *Estándares de calidad del Agua Potable*

Los estándares de agua potable son regulaciones establecidas para el análisis del nivel de contaminantes en el agua potable de un país y así asegurar la protección de la misma, estas regulaciones contienen secciones concernientes al estudio y protección de las fuentes proveedoras de agua, la protección de pozos y sistemas de captación, el tratamiento por medio de operadores calificados y el control de la integridad de sistemas de distribución.

#### **1.6.2.1**      *La Organización Mundial de la Salud*

A partir de 1958 la Organización Mundial de la Salud ha publicado periódicamente “Estándares Internacionales de Agua Potable” que con el tiempo tomaron el nombre de “Guías para la Calidad del Agua Potable”. Estas Guías internacionales buscan mejorar la calidad del agua potable y la salud humana al ser usadas como base para la regulación de los estándares de agua potable en los países alrededor de todo el mundo (Truque, 2010a: p.6).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece directrices que se las actualiza cada 12 años aproximadamente en los que constan parámetros para la calidad del agua potable que son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua de consumo. Las últimas directrices publicadas por la OMS son las acordadas en Ginebra, 2004.

Cabe señalar que para algunos de los elementos y sustancias que se mencionan en las guías no existe directriz. Esto se debe a que no existen suficientes estudios referentes a los efectos de esta sustancia en el organismo, y por tanto no es posible definir un valor límite.

En otros casos, la razón para que no exista directriz es la imposibilidad de que esa sustancia alcance una concentración peligrosa en el agua, debido a su insolubilidad o a su escasez (Truque, 2010b: p.7).

#### **1.6.2.2 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua.**

***“Libro VI Anexo I del Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA).***

*La norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.*

*La norma técnica determina o establece:*

- *Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;*
- *Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,*
- *Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.*

### ***Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico***

*Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como:*

- *Bebida y preparación de alimentos para consumo,*
- *Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios,*
- *Fabricación o procesamiento de alimentos en general.*

***Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren tratamiento convencional” (TULSMA, 2015b: p.9).***

**Tabla 7-1** Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano

| <b>Parámetros</b>                      | <b>Expresado Como</b>         | <b>Unidad</b>     | <b>Límite Máximo Permissible</b> |
|--|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Aceites y Grasas                       | Sustancias solubles en hexano | mg/l              | 0,3                              |
| Aluminio                               | Al                            | mg/l              | 0,2                              |
| Amoniaco                               | N-Amoniacal                   | mg/l              | 1,0                              |
| Amonio                                 | NH <sub>4</sub>               | mg/l              | 0,05                             |
| Arsénico (total)                       | As                            | mg/l              | 0,05                             |
| Bario                                  | Ba                            | mg/l              | 1,0                              |
| Cianuro (total)                        | CN <sup>-</sup>               | mg/l              | 0,1                              |
| Cloruro                                | Cl                            | mg/l              | 250                              |
| Cobre                                  | Cu                            | mg/l              | 1,0                              |
| Coliformes Totales                     | nmp/100 ml                    |                   | 3 000                            |
| Coliformes Fecales                     | nmp/100 ml                    |                   | 600                              |
| Color                                  | color real                    | unidades de color | 100                              |
| <b>Conductividad eléctrica</b>         | <b>CE</b>                     | <b>Us/cm</b>      | <b>50-1500</b>                   |
| Compuestos fenólicos                   | Fenol                         | mg/l              | 0,002                            |
| Cromo hexavalente                      | Cr <sup>+6</sup>              | mg/l              | 0,05                             |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | DBO <sub>5</sub>              | mg/l              | 2,0                              |

**Continuará:**

**Continúa:**

|                                       |  |             |   |
|---------------------------------------|--|-------------|---|
| Dureza                                | CaCO <sub>3</sub>                      | mg/l        | 500   |
| Bifenilo policlorados/PCBs            | Concentración de PCBs totales          | µg/l        | 0,0005  |
| Fluoruro (total)                      | F                                      | mg/l        | 1,5   |
| Hierro (total)                        | Fe                                     | mg/l        | 1,0   |
| Manganeso (total)                     | Mn                                     | mg/l        | 0,1   |
| Mercurio (total)                      | Hg                                     | mg/l        | 0,001   |
| Nitrato                               | N-Nitrato                              | mg/l        | 10,0  |
| Nitrito                               | N-Nitrito                              | mg/l        | 1,0   |
| Olor y sabor                          |  |             | Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional    |
| <b>Oxígeno disuelto</b>               | <b>O.D.</b>                            | <b>mg/l</b> | <b>No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l</b> |
| Plata (total)                         | Ag                                     | mg/l        | 0,05  |
| Plomo (total)                         | Pb                                     | mg/l        | 0,05  |
| <b>Potencial de hidrógeno</b>         | <b>pH</b>                              |             | <b>6-9</b>  |
| Selenio (total)                       | Se                                     | mg/l        | 0,01  |
| Sodio                                 | Na                                     | mg/l        | 200   |
| <b>Sólidos disueltos totales</b>      |  | <b>mg/l</b> | <b>1 000</b>  |
| Sulfatos                              | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>           | mg/l        | 400   |
| Temperatura                           |  | °C          | Condición Natural + o - 3 grados                                    |
| Tensoactivos                          | Sustancias activas al azul de metileno | mg/l        | 0,5   |
| Turbiedad                             |  | UTN         | 100   |
| Zinc                                  | Zn                                     | mg/l        | 5,0   |
| <b>Productos para la desinfección</b> |  | mg/l        | 0,1   |
| Hidrocarburos Aromáticos              |  |             |   |
| Benceno                               | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>          | µg/l        | 10,0  |
| Benzo(a) pireno                       |  | µg/l        | 0,01  |
| Etilbenceno                           |  | µg/l        | 700   |

|                                |   |      |        |
|--------------------------------|---|------|--------|
| Estireno                       |   | µg/l | 100    |
| Tolueno                        |   | µg/l | 1 000  |
| Xilenos (totales)              |   | µg/l | 10 000 |
| <b>Pesticidas y herbicidas</b> |   |      |        |
| Carbamatos totales             | Concentración de carbamatos totales       | mg/l | 0,1    |
| Organoclorados totales         | Concentración de organoclorados totales   | mg/l | 0,01   |
| Organofosforados totales       | Concentración de organofosforados totales | mg/l | 0,1    |
| Dibromocloropropano (DBCP)     | Concentración total de DBCP               | µg/l | 0,2    |
| Dibromoetileno (DBE)           | Concentración total de DBE                | µg/l | 0,05   |
| Dicloropropano (1,2)           | Concentración total de dicloropropano     | µg/l | 5      |
| Glifosato                      |   | µg/l | 200    |
| Toxafeno                       |   | µg/l | 5      |
| <b>COMPUESTOS HALOGENADOS</b>  |   |      |        |
| Tetracloruro de carbono        |   | µg/l | 3      |
| Dicloroetano (1,2-)            |   | µg/l | 10     |
| Dicloroetileno (1,1-)          |   | µg/l | 0,3    |
| Dicloroetileno (1,2-cis)       |   | µg/l | 70     |
| Tetracloroetileno              |   | µg/l | 10     |
| Clorobenceno                   |   | µg/l | 100    |
| Diclorobenceno (1,2-)          |   | µg/l | 200    |
| Diclorobenceno (1,4-)          |   | µg/l | 5      |
| Potencial de óxido reducción   | ORP                                       | mV   | 650    |
| Salinidad                      | S   | ups  | 0,5    |

Fuente: (TULSMA, 2015. p.9).

### 1.6.3 Descripción de los parámetros de agua a ser analizados

Para el presente trabajo se analizarán cinco parámetros para determinar la calidad de agua, tomando en cuenta los parámetros básicos que se realizan en estudios convencionales, entonces los parámetros propuestos a cubrir se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 8-1** Parámetros de agua de consumo humano a analizar

| <b>Parámetros a Cubrir</b>    | <b>Parámetros a Analizar con la WSN</b> |
|-------------------------------|---|
| <b>Oxígeno Disuelto</b>       | Oxígeno Disuelto                        |
| <b>Cloro Libre Residual</b>   | Potencial de Oxido Reducción            |
| <b>Potencial de Hidrogeno</b> | Potencial de Hidrógeno                  |
| <b>Conductividad</b>          | Conductividad                           |

Fuente: Yumi S, 2016

#### 1.6.3.1 Oxígeno Disuelto (OD)

El Oxígeno Disuelto proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua. Puede ser un factor importante de cuán contaminada está el agua y la forma en que influye a la vida en general. “Se mide en mg/l (miligramos de oxígeno por litro de agua), en p.p.m. (partes por millón), o bien, p.p.b. (partes por billón) y en % de saturación” (Tirado, 2015b: p.40).

Todos sabemos que los organismos vivos dependen de una u otra forma del oxígeno en lo que concierne a procesos metabólicos que producen energía para crecimiento y reproducción

En aguas contaminadas los valores de saturación del OD son menores que en aguas limpias y que resulta de la existencia de Coliformes totales y Coliformes fecales.

Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad.

### **1.6.3.2 Potencial de Óxido Reducción (ORP)**

“La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año de 1971, determinó la medida del potencial de óxido reducción (ORP) como una alternativa confiable para determinar la calidad sanitaria del agua.

Un valor de ORP inferior a los 650mV indica la presencia de altas concentraciones de microorganismos patógenos. Una reacción de óxido-redox se caracteriza porque una sustancia gana electrones y otra los pierde; es decir hay una transferencia de electrones.

El potencial de Oxido reducción tiene un aspecto positivo cuando se origina una oxidación y un negativo cuando se origina una reducción. Por lo general, las reacciones redox vienen ligadas de cambios de PH en el medio y permiten determinar un nivel de poblaciones bacterianas en el agua.

### **1.6.3.3 Potencial de Hidrógeno (pH)**

Es considerado uno de los indicadores físico-químicos más importantes en la caracterización de la calidad del agua, muestra la acidez de una sustancia y constituye una de las propiedades más importantes. Está definido por el número de iones libres de hidrógeno (H<sup>+</sup>) en el agua. El valor del PH es dependiente también del equilibrio de algunas sustancias o factores como la temperatura y salinidad.

Los niveles altos o bajos de pH pueden provocar problemas en cuanto a la calidad del agua. El agua con bajo nivel de pH puede también corroer las cañerías de los sistemas de distribución de agua potable y liberar plomo, cadmio, cobre, zinc y estaño.

Las plantas de tratamiento del agua monitorean con atención el pH del agua para salvaguardarla contra tales tipos de corrosión. Asimismo, el agua cuyo pH es inferior a 6 es demasiado ácida y, por encima de 9, es demasiado básica para el consumo humano.

La escala del pH mide qué tan ácida o básica es una sustancia, las medidas prácticas del PH varía de 0 a 14. Un pH de 7 es neutro. Si el pH es inferior a 7 es ácido y si es superior a 7 es básico (Creus, 2012c: p.278).



**Figura 16-1** Escala del PH

Fuente: (Epa, 2013)

#### 1.6.3.4 Conductividad

La conductividad del agua es un valor muy utilizado para determinar el contenido de sales disueltas en ella. Es el inverso de la resistencia que opone el agua al paso de la corriente eléctrica.

El agua pura es un buen conductor de la electricidad. La conductividad se mide en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y, si bien no existe una relación constante con la salinidad, para realizar cálculos aproximados se acepta que la salinidad total del agua (expresada en  $\text{mg}/\text{L}$ ) corresponde al valor de la conductividad (expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) multiplicado por un factor de 0,6 – 0,7.

#### 1.6.3.5 Sólidos totales disueltos (TDS)

El término sólidos hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas (Aveiga T, 2015).

Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Por esta razón, se ha establecido un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos para el agua potable que requiere tratamiento convencional en Ecuador. Los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas.

#### **1.6.3.6 Salinidad**

Originalmente este parámetro se concibió como una medida de la cantidad total de sales disueltas en un volumen determinado de agua. Dado que la determinación del contenido total de sales requiere de análisis químicos que consumen mucho tiempo, se utilizan en substitución métodos indirectos para estimar la salinidad. Se puede determinar la salinidad de un cuerpo de agua a base de determinaciones de: conductividad, densidad, índice de refracción o velocidad del sonido en agua.

### **1.7 Software Computacional**

Se utilizó diferentes aplicaciones computacionales necesarias para el eficiente y correcto funcionamiento de la red de sensores debido a los beneficios que presentan cada uno de ellos; como principal ventaja es que constituyen software libre, es decir, se los puede obtener gratuitamente en la web o páginas oficiales, reduciendo así un gasto innecesario en un software que sea comercial, que brinde las mismas funciones y que tenga las mismas características para lograr resultados muy parecidos o iguales.

Se usó placas Arduino y por ende para su programación el entorno de desarrollo de la misma compañía, el cual contiene un editor de texto para escribir el código de acuerdo a las necesidades de la WSN, un área de mensaje en donde se puede saber los errores que se tienen en la escritura de la programación o errores al cargar el programa en el microcontrolador de la tarjeta, además posee una consola de texto, barra de herramientas.

Labview es una de las aplicaciones de relevancia utilizadas en el presente trabajo para la interacción con el personal que va a manipular el sistema de monitoreo de calidad de agua, por lo que fue elegida debido a las herramientas que posee y que son amigables con el usuario, además que gracias a su programación gráfica e intuitiva reduce el tiempo de desarrollo de pruebas, muestra resultados con interfaces de usuario personalizadas y también se puede visualizar e interactuar con datos en vivo mientras la aplicación se está ejecutando.

Para la calibración de cada uno de los sensores se usó el software que proporciona la empresa *Atlas Scientific*, el cual es mucho más amigable con el usuario que la opción de “monitoreo serial” de arduino que realiza la misma función y se lo usó debido a que da opciones a elegir como tamaño de letra para recibir los datos, los comandos enviados se quedan en un historial y resultan más fácil volver a utilizarlos, se puede elegir el puerto por el que se está recibiendo los datos así como la velocidad de transferencia de datos.

En la elección apropiada de los módulos Xbee y análisis de parámetros de la red se decidió emplear el software NS-2 que seguramente es el simulador de redes open source más usado para fines de investigación porque es capaz de simular estructuras y protocolos de redes de tipo satélite, inalámbrico y cableado, es por esto que resulta adecuado para el estudio de los módulos de comunicación inalámbrica.

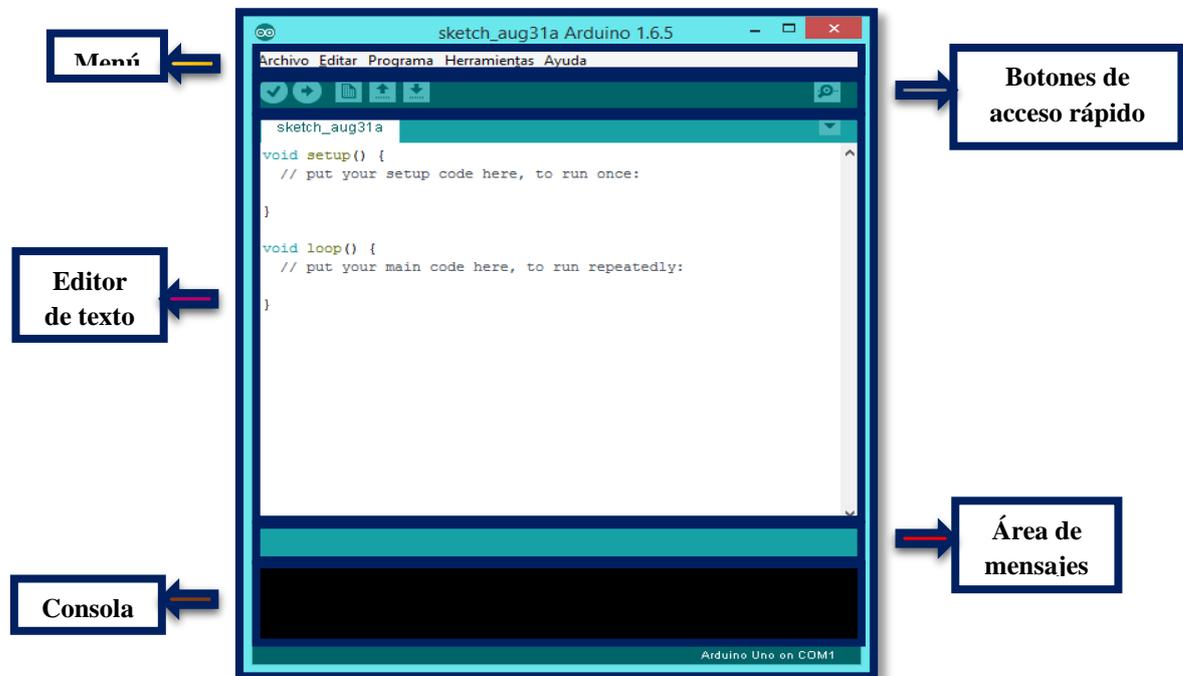
En cuanto a la configuración de módulos Xbee se usó el software X-CTU a pesar que existen más programas para este fin se decidió emplear este software porque tiene licencia libre y es el que menos problemas presenta al momento de su uso, es el software más usado para configuración de módulos Xbee por lo que existe suficiente información acerca de ellos.

### ***1.7.1 Arduino IDE***

Arduino IDE (Integrated Development Environment) es un software en donde se escribe programas para la placa arduino, a diferencia de otros ordenadores arduino no posee ninguna pantalla ni teclado es por ello que aparte tiene un software en donde se realiza la programación se lo carga a la placa y este empieza a funcionar.

El IDE está basado en Processing que es un lenguaje de programación que está basado en java y permite establecer un ambiente de visualización de datos mucho más llamativo y con más

posibilidades que si usamos el Monitor Serial del IDE de Arduino y Wiring (open source) que es un marco de programación para microcontroladores de código abierto, este permite controlar dispositivos conectados a varias placas de microcontroladores para crear diferente codificación espacios, objetos interactivos o experiencias físicas.



**Figura 17-1** Entorno de programación Arduino

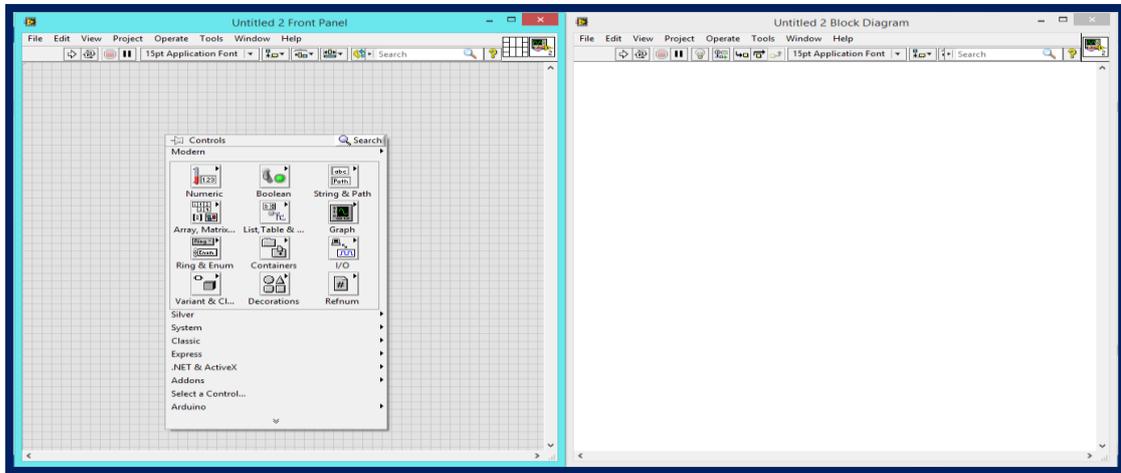
Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### 1.7.2 Labview

Labview es un programa creado por National Instruments, se usa sobre plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux, mediante su lenguaje de programación visual gráfico llamado lenguaje G, se usa tanto en hardware y software ya que permite desarrollar diferentes pruebas de diseño y control, de forma real o simulada (Soluciones Ejecutive, 2011).

Este software es usado tanto por personas con poco conocimiento de programación como por programadores profesionales ya que no consiste en escribir líneas de código sino que se dibujan permitiendo así una facilidad en la comprensión y a la vez que el usuario se sienta a gusto. Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo .

Esto no significa que la empresa haga únicamente software, sino que busca combinar este software con todo tipo de hardware como tarjetas de adquisición de datos, PAC, etc.

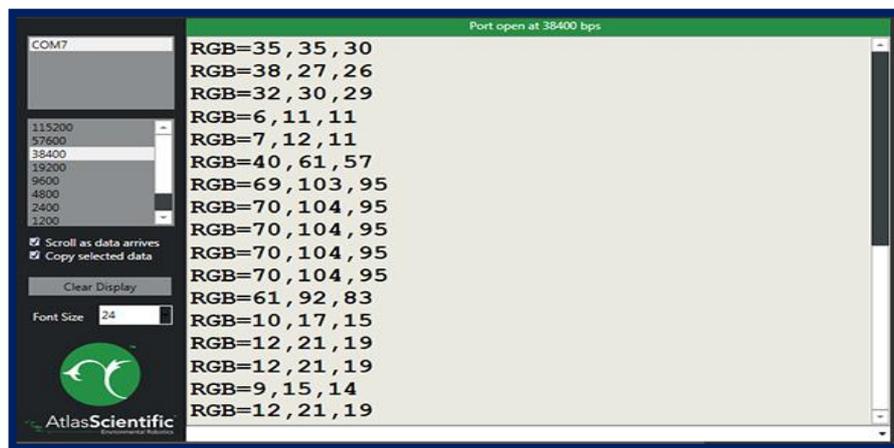


**Figura 18-1** Entorno de programación Labview 2014

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### 1.7.3 Software Atlas Scientific

El software de *Atlas Scientific* está diseñado para configurar los sensores de acuerdo con las características y valores que se requiera en el ambiente adecuado, es decir por medio de este software se puede calibrar los diferentes sensores, además de esta forma se los configurará para que los datos sean obtenidos con mayor exactitud.



**Figura 19-1** Entorno de programación *Atlas Scientific*

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

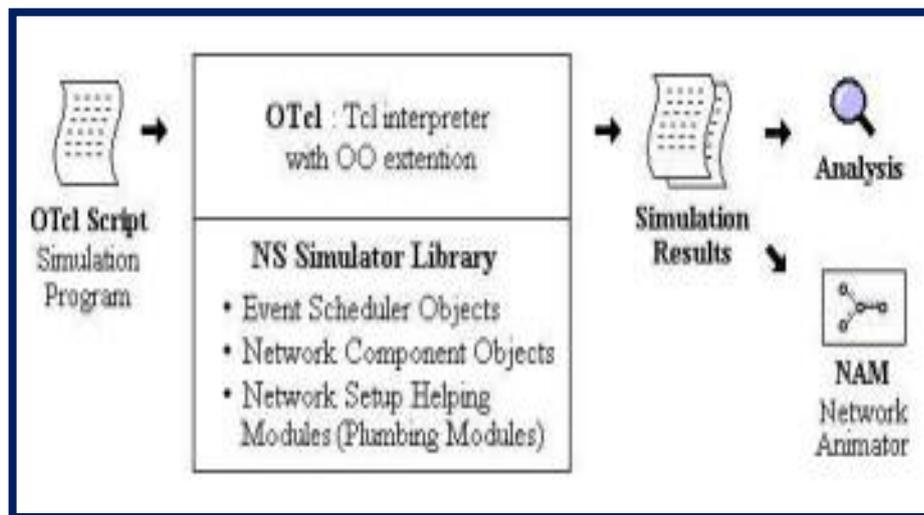
#### 1.7.4 Ns-2

Ns-2 es un software simulador de eventos discretos orientado a objetos muy potente, está escrito en C++, cuya interfaz de usuario se presenta en OTcl es uno de los simuladores con más popularidad y más completos en la actualidad.

OTcl, es un lenguaje derivado del Tcl orientado a objetos, es usado para realizar el script con la programación de todo lo que necesitamos en el escenario de la simulación como por ejemplo conexión entre los objetos de la simulación, encender y apagar el tráfico etc.

Ns-2 es un simulador de redes de software libre que permite simular redes tanto cableadas como inalámbricas con topologías complejas y un gran número de generadores de tráfico. Este simulador brinda soporte a una variedad de protocolos de las capas de transporte (UDP, TCP, RTP, SRM) en la capa de aplicación (ftp, cbr, http, etc.) además los protocolos de enrutamiento (monodifusión y multidifusión).

Tiene una herramienta llamada NAM la que permite mostrar la gráfica de la red que se diseñó según las características con las que se programe mediante los comandos en lenguaje Tcl y luego enviándolo a compilar por NS. La herramienta XGRAPH al contrario permite analizar los paquetes perdidos, paquetes recibidos, análisis de tráfico, ancho de banda etc.



**Figura 20-1** Funcionamiento del simulador NS-2

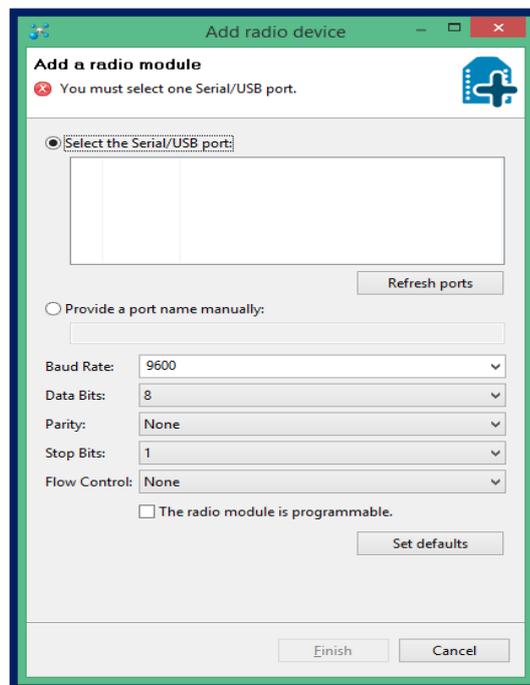
Fuente: (Herrera J, 2004)

Para programar el tipo de escenario que deseamos para el presente trabajo, se debe empezar haciendo un script, este archivo tendrá la extensión **.tcl** por ejemplo **prueba1.tcl**, entonces comenzamos a digitar luego para correr la programación y ver el escenario escribimos el comando **ns prueba1.tcl**.

### 1.7.5 X-CTU

Es una aplicación que puede ser usada tanto en Linux como en Windows, que presenta una interfaz gráfica para la interacción con las diferentes versiones de módulos Xbee, debe ser instalado correctamente para que no presente problemas al momento de la comunicación y pruebas finales, es un software libre por lo que es usado por la mayoría de usuarios que requieren el uso de la tecnología 6LoWPAN.

Presenta una interfaz amigable con el usuario que permite una rápida interpretación de las herramientas que posee y admite configurar toda clase de módulos Xbee serie 1 o serie 2, el manejo en Linux Varía en términos no muy relevantes en donde se debe hacer uso de líneas de comandos necesarios para que corra el programa.



**Figura 21-1** Ventana principal de X-CTU

Fuente: Yumi S, 2016

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo contendrá definiciones y comparaciones de los diferentes dispositivos necesarios para la implementación del sistema con sus respectivos sensores, pues existen dispositivos con características similares pero que tienen algo no común, esto puede causar problemas o peor aún que el sistema no funcione. Mediante un análisis se clasifica y se selecciona los dispositivos más óptimos.

Se utilizará el método deductivo, cada variable tendrá un valor que muestre el desempeño del sistema como: energía, cobertura, tráfico de datos, velocidad de los datos, etc. Los parámetros necesarios para la selección de los dispositivos correctos con su respectiva tecnología con direcciones ipv6 (6lowpan).

Para seleccionar los equipos también tenemos que tomar en cuenta el escenario en el cual se va a implementar el sistema, en este caso comprobar la calidad de agua en EP. EMAPAR de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo.

Tomando en cuenta que el agua es un elemento muy importante en los seres humanos, y que en los últimos años ha presentado problemas respecto a la calidad, nuestro propósito es beneficiar al consumidor final dándole una pauta de los respectivos contaminantes del agua, y así las autoridades tomarán cartas sobre el asunto.

Una de las características a tomar en cuenta es la fuente de alimentación de los equipos arduino, Xbee, sensores, etc. Ya que deben estar en lugares convenientes, además de comprobar la versión de modulo, la ventaja que tienen estos dispositivos es su bajo consumo de energía para lugares donde no se tiene una toma de corriente.

Se va a analizar la pérdida de cada nivel, los datos recibidos, el tráfico, entrega de paquetes, pues cuando se envía de forma inalámbrica corre el peligro que no lleguen estos datos, es por esta razón que se monitoreara la red y comprobar los datos.

## 2.1 Evaluación de Sensores

Un sensor es esencial en un sistema electrónico. Para determinar los sensores adecuados para el sistema se tomó ciertos factores a evaluar de acuerdo con las necesidades relevantes para el sistema como: lugar de adquisición, disponibilidad de los equipos, características, y lo más importante los costos.

En base a estas características se eligió los elementos de disponibilidad en el mercado, y así teniendo esto poder analizar cada una de las características, ventajas y desventajas de los mismos, hacer un análisis minucioso y así elegir el dispositivo más adecuado con los parámetros requeridos.

Se presentó valores para saber el nivel de importancia de la red de sensores inalámbricos desde el nivel mayor a un nivel menor y así poder asignarles valores el 0 (menor) al 4 (mayor), este análisis es para cada tipo de sensor respecto a las características y parámetros necesarios para el sistema.

**Tabla 1-2** Escala cuantitativa y cualitativa

|                 | <b>ESCALA CUANTITATIVA Y CUALITATIVA</b> |            |               |          |              |
|-----------------|--|------------|---------------|----------|--------------|
|                 | <b>VALORACIÓN</b>                        |            |               |          |              |
| <b>N</b>        | 0  | 1          | 2             | 3        | 4            |
| <b>%</b>        | 0  | 25         | 50            | 75       | 100          |
| <b>cualidad</b> | Nada adecuado                            | Inadecuado | Poco adecuado | Adecuado | muy adecuado |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### 2.1.1. *Hardware para medir PH*

**Tabla 2-2** Sensores de pH disponibles en el mercado

| <b>Características</b>  | <b>PCE Instruments<br/>Sensor pH 110</b> | <b>Atlas Scientific<br/>ENV-40_PH</b> | <b>OPTISENS PH<br/>8100</b>   |
|-------------------------|--|---------------------------------------|---|
| Principio de medida     | Electroquímico                           | Electroquímico                        | Óptico  |
| Error máximo de medida  | ±0,03 pH                                 | ±0,02 pH                              | ±0,02 pH  |
| Calibración             | Si                                       | Si                                    | Si ocasionalmente   |
| Voltaje que trabaja     | 3V - 5V                                  | 3.3V – 5 V                            | 5 V   |
| Rango de medición       | 1 – 12 pH                                | 0 – 14 pH                             | 0 – 14 pH   |
| Inversión               | Alta                                     | Baja                                  | Alta  |
| Aplicaciones            | Industriales                             | Principalmente en calidad de agua     | Control de la calidad de agua, y aplicaciones con aguas residuales. |
| Circuito acondicionador | No dispone                               | Si dispone                            | No dispone  |

Fuente: (Herrera J, 2004); (Atlas Scientific, 2015)

**Tabla 3-2** Valoración de las características para los sensores de pH

| <b>Nivel de Importancia</b> | <b>Característica</b>   | <b>PCE Instruments<br/>Sensor pH 110</b> | <b>Atlas Scientific<br/>ENV-40_PH</b> | <b>OPTISENS<br/>PH 8100</b> |
|-----------------------------|-------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------------|
| <b>1</b>                    | Calibración             | 4  | 4                                     | 3                           |
| <b>2</b>                    | Circuito acondicionador | 0  | 4                                     | 0                           |
| <b>3</b>                    | Aplicaciones            | 3  | 4                                     | 4                           |
| <b>4</b>                    | Error máximo de medida  | 2  | 3                                     | 3                           |
| <b>5</b>                    | Inversión               | <b>2</b>                                 | <b>4</b>                              | <b>2</b>                    |
| <b>6</b>                    | Voltaje que trabaja     | 4  | 4                                     | 3                           |
| <b>TOTAL DE PUNTOS:</b>     |                         | <b>15</b>                                | <b>23</b>                             | <b>15</b>                   |

Fuente: Yumi S, 2016

## Interpretación:

**Tabla 4-2** Análisis de las alternativas de pH por separado

| <b>Puntos máximos</b> | <b>Alternativa 1</b> | <b>Alternativa 2</b> | <b>Alternativa 3</b> |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 24                    | 15                   | 23                   | 15                   |
| 100%                  | 62,50%               | 95,83%               | 62,50%               |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

Con los valores obtenidos se eligió el sensor de PH (Caso 2) debido a que nos dio el mayor porcentaje de factibilidad por ser un sensor que cumple con las características necesarias para medir el potencial que desarrolla a través de dos soluciones con concentración de protones y tiene un porcentaje del 96,88% , entre las particularidades que los tres sensores cumplen por igual está el almacenamiento de datos de calibración, el tamaño de la sonda era muy parecido y los tres envían señal analógica.

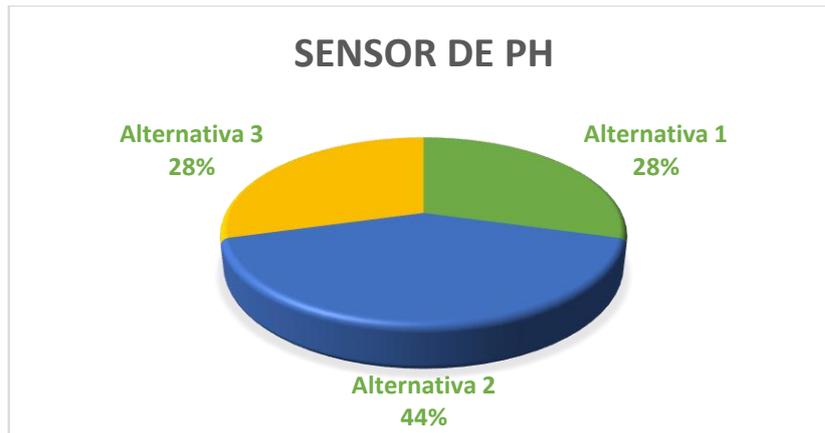
El sensor tiene la facilidad de ciclo de vida prolongado, es un conjunto de electrodos combinado con un electrodo de referencia integrado que mide el nivel de acides de una disolución, indica la concentración de H3O que se encuentran en determinadas sustancia y así poder medir el nivel exacto de PH sin tener que añadir ningún circuito o componentes adicionales para su diseño, además que facilita la calibración del sensor con la ayuda de soluciones calibradoras.

Se realizó una tabla de comparación en relación al 100% entre todas las alternativas, tomando en cuenta como puntos máximos la suma de puntos totales que tiene cada alternativa, mostrando los resultados en los siguientes gráficos estadísticos.

**Tabla 5-2** Análisis entre las 3 alternativas de pH

| <b>Puntos máximos</b> | <b>Alternativa 1</b> | <b>Alternativa 2</b> | <b>Alternativa 3</b> |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>53</b>             | 15                   | 23                   | 15                   |
| <b>100%</b>           | 28,30%               | 43,40%               | 28,30%               |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016



**Figura 1-2** Alternativas para pH

Fuente: YUMI, S, 2016



**Figura 2-2** Sensor de PH

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Dispositivos adicionales:**

- ✓ Conector BNC hembra



**Figura 3-2** Vista trasera y frontal del conector BNC

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

- ✓ Circuito de PH



**Figura 4-2** Circuito de pH

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

- ✓ Tres soluciones de calibración y una de almacenamiento



**Figura 5-2** Soluciones de calibración y almacenamiento

Fuente: Yumi S, 2016

### 2.1.2. Hardware medidor de ORP

**Tabla 6-2** Medidor de ORP existentes en el mercado

| Características         | Lab Electrode ASR2803-3-1M-BNC ORP | Atlas Scientific ENV-40-ORP       | Omega ORE-45P ORP                  |
|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Principio de medida     | Óptico                             | Electroquímico                    | Electroquímico                     |
| Calibración             | Si                                 | Si                                | Si                                 |
| Inversión               | Baja                               | Baja                              | Alta                               |
| Aplicaciones            | Bioteconológicas                   | Principalmente en calidad de agua | Muestras acuosas en general        |
| Circuito acondicionador | Si dispone                         | Si dispone                        | No porque posee monitor analizador |

Fuente: (Phidgets, 2012); (Atlas Scientific, 2015); (Omega, 2012)

**Tabla 7-2** Valoración de las características para los sensores de ORP

| <b>Importancia</b>      | <b>Características</b>  | <b>ASR2803-3-1M-BNC ORP</b> | <b>Atlas Scientific ENV-40-ORP</b> | <b>Omega ORE-45P ORP</b> |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| <b>1</b>                | Calibración             | 3                           | 4                                  | 4                        |
| <b>2</b>                | Circuito acondicionador | 4                           | 4                                  | 0                        |
| <b>3</b>                | Aplicaciones            | 3                           | 4                                  | 3                        |
| <b>4</b>                | Rango de medición       | 3                           | 4                                  | 2                        |
| <b>5</b>                | Inversión               | 4                           | 4                                  | 2                        |
| <b>6</b>                | Voltaje que trabaja     | 4                           | 4                                  | 2                        |
| <b>7</b>                | Principio de medida     | 4                           | 4                                  | 4                        |
| <b>TOTAL DE PUNTOS:</b> |                         | <b>25</b>                   | <b>27</b>                          | <b>17</b>                |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### Interpretación:

**Tabla 8-2** Alternativas de ORP por separado

| <b>ALTERNATIVAS</b> |        |        |        |
|---------------------|--------|--------|--------|
| <b>Máximos</b>      | 1      | 2      | 3      |
| <b>28</b>           | 25     | 27     | 17     |
| <b>100%</b>         | 89,29% | 96,43% | 60,71% |

Fuente: Yumi S, 2016

Con el resultado obtenido se eligió el sensor ORP-40- de la empresa *Atlas Scientific*, (Alternativa 2) debido a que tiene mayor valor en el análisis de características necesarias, el cual tiene un porcentaje de 96,43%, los tres dispositivos tienen muy buenas características pero la opción escogida cumple con los estándares necesarios para el funcionamiento del dispositivo a crear además que envía señal analógica.

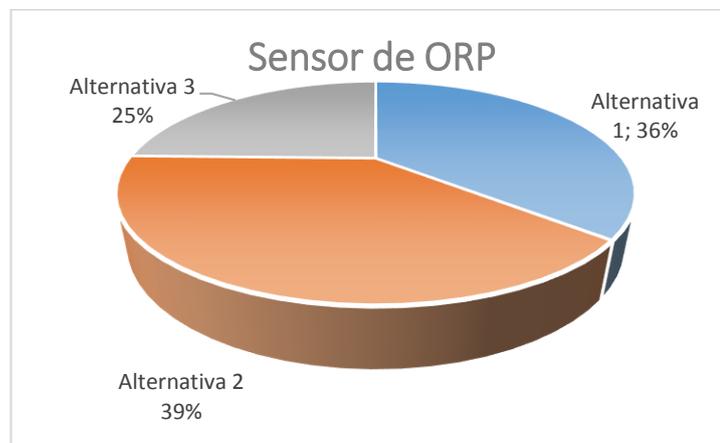
Este sensor mide el potencial de solución acuosa ya que sus sensores están hechos de platino y celdas de flujo que incluyen paneles de control que ofrece la posibilidad de tener un rendimiento excelente pero con diferentes maneras de control. La calibración de este dispositivo se lo realiza por comandos ingresados al embebidos su principal ventaja es que es orientado directamente para el agua lo cual hará más eficiente la medición y por ende mejorara la calidad del agua.

Se realizó un cuadro de comparación respecto al 100% entre todas las alternativas, tomando como referencia las puntuaciones Anteriores de cada alternativa, la cual se mostrara en un gráfico estadístico.

**Tabla 9-2** Análisis de las alternativas de ORP

| <b>ALTERNATIVAS</b>   |        |        |        |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| <b>Puntos máximos</b> | 1      | 2      | 3      |
| <b>69</b>             | 25     | 27     | 17     |
| <b>100%</b>           | 36,23% | 39,13% | 24,64% |

**Fuente:** YUMI, Sandra, 2016



**Figura 6-2** Alternativas para ORP

**Fuente:** YUMI, Sandra, 2016



**Figura 7-2** Sensor -40-ORP

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Dispositivos adicionales:**

- ✓ Conector BNC hembra
- ✓ Circuito de ORP



**Figura 8-2** Circuito de ORP

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

- ✓ Una solución de calibración
- ✓ Una solución de almacenamiento



**Figura 9-2** Soluciones de calibración y almacenamiento

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### 2.1.3. Hardware para medir OD

**Tabla 10-2** Sensores de OD existentes en el mercado.

| Características                | Sensor de Oxígeno Disuelto 499ADO         | Atlas Scientific ENV-40-OD        | Sensor de Trazas Oxígeno Disuelto 499ATrDO                                |
|--------------------------------|---|-----------------------------------|---|
| <b>Principio de medida</b>     | Óptico                                    | Electroquímico                    | Óptico  |
| <b>Calibración</b>             | Automática con aire                       | Si con soluciones                 | Automática con aire   |
| <b>Voltaje que trabaja</b>     | 5V – 9V                                   | 3.3V – 5V                         | 5V – 9V   |
| <b>Inversión</b>               | Alta                                      | Baja                              | Alta  |
| <b>Aplicaciones</b>            | Cuencas de aireación de aguas residuales. | Principalmente en calidad de agua | Medir el OD en el condensado de vapor y agua de alimentación en calderas. |
| <b>Circuito acondicionador</b> | No dispone                                | Si dispone                        | No dispone  |

Fuente: (Emerson, 2015); (Atlas Scientific, 2015);

**Tabla 11-2** Valoración de las características para los sensores de OD

| Importancia             | Características         | Oxígeno Disuelto 499ADO | ENV-40-DO | Oxígeno Disuelto 499ATrDO |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|
| 1                       | Calibración             | 2                       | 4         | 2                         |
| 2                       | Circuito acondicionador | 0                       | 4         | 0                         |
| 3                       | Aplicaciones            | 2                       | 4         | 2                         |
| 4                       | Rango de medición       | 3                       | 3         | 3                         |
| 5                       | Inversión               | 2                       | 3         | 2                         |
| 6                       | Voltaje que trabaja     | 3                       | 4         | 3                         |
| 7                       | Principio de medida     | 3                       | 4         | 3                         |
| <b>TOTAL DE PUNTOS:</b> |                         | <b>15</b>               | <b>26</b> | <b>15</b>                 |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## Interpretación:

**Tabla 12-2** Alternativas de OD

| <b>ALTERNATIVAS</b>   |        |        |        |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| <b>Puntos máximos</b> | 1      | 2      | 3      |
| 28                    | 15     | 26     | 15     |
| 100%                  | 53,57% | 92,86% | 53,57% |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

Se ha elegido el sensor de -40-OD (Alternativa 2) de la empresa *Atlas Scientific*, ya que este dispositivo dio un mayor porcentaje en los valores calificativos en cuanto a las características o ventajas con un porcentaje del 92,86%, que de acuerdo al análisis anterior, aunque los tres sensores tiene las características de calibración una semejanza es que los tres envían señales analógicas.

El sensor higiénicos electroquímico de oxígeno disuelto ya que se usan para varias aplicaciones principalmente en la de alimentos y medición de la calidad de agua, consta de un circuito BNC analógica a digital para después enviarla por el puerto serial lo que permite monitorear de manera precisa y eficaz la cantidad de oxígeno sin ningún circuito adicional.

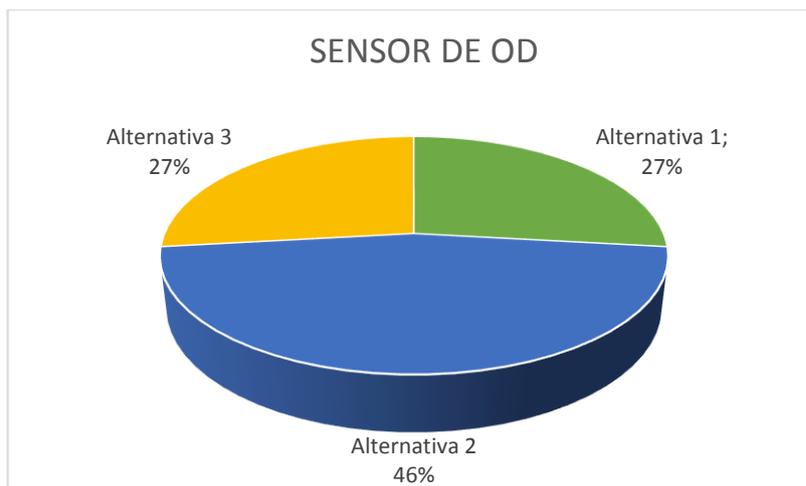
Se debe ingresar una serie de comandos para que se realice la calibración adecuada, además de que su fuerte objetivo es la medición de la calidad de agua respecto a sus características necesarias además de que su configuración no es complicada y es adaptable a cualquier tipo de sistema.

Para una mejor interpretación de las ventajas se realizó una tabla de comparación haciendo relación al 100% así la suma total nos dará un resultado aproximado, con los respectivos datos estadísticos.

**Tabla 13-2** Análisis entre las 3 alternativas de DO

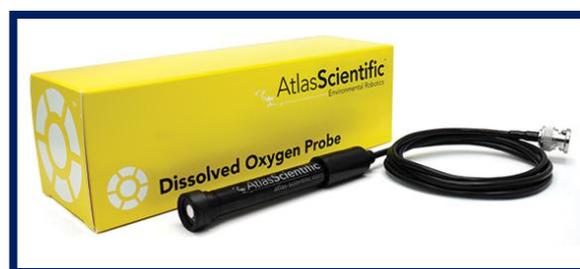
| <b>ALTERNATIVAS</b>   |        |        |        |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| <b>Puntos máximos</b> | 1      | 2      | 3      |
| <b>56</b>             | 15     | 26     | 15     |
| <b>100%</b>           | 26,79% | 46,43% | 26,79% |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016



**Figura 10-2** Porcentaje para DO

Fuente: YUMI, Sandra, 2016



**Figura 11-2** Sensor-40-DO atlas

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Dispositivos adicionales:**

- ✓ Circuito de DO



**Figura 12-2** Circuito de DO

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

✓ Solución test



**Figura 13-2** Dispositivos adicionales de DO

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

#### 2.1.4. Hardware para medir Conductividad

**Tabla 14-2** Sensores de conductividad disponibles en el mercado

| Características         | Sensor de Conductividad DPF modelo SI3013                    | Atlas Scientific ENV-40-EC-K1.0   | Sensor de Conductividad DPF modelo SI312.4    |
|-------------------------|--|-----------------------------------|---|
| Principio de medida     | Electrodos en banda de platino                               | Electroquímico                    | Electrodos en banda de platino                |
| Calibración             | No   | Si con soluciones                 | No  |
| Rango de medición       | 0ms – 2ms  | 5 $\mu$ S - 200,000 $\mu$ S       | Hasta 20 ms                                   |
| Inversión               | Baja   | Baja                              | Alta  |
| Aplicaciones            | Para agua con bajos valores de salinidad, montaje en tubería | Principalmente en calidad de agua | Aplicaciones en inmersión o cámaras de caudal |
| Circuito acondicionador | Conexión directa a controlador                               | Si dispone                        | Conexión directa a controlador                |

Fuente: (Guemisa, 2015); (Atlas Scientific, 2015)

**Tabla 15-2** Características de los sensores de conductividad

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

|                         |                         | <b>Sensores de conductividad</b> |                                 |                    |
|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| <b>Importancia</b>      | Características         | DPF modelo SI3013                | Atlas Scientific ENV-40-EC-K1.0 | DPF modelo SI312.4 |
| <b>1</b>                | Calibración             | 0                                | 4                               | 0                  |
| <b>2</b>                | Circuito acondicionador | 1                                | 4                               | 1                  |
| <b>3</b>                | Aplicaciones            | 3                                | 4                               | 2                  |
| <b>4</b>                | Rango de medición       | 3                                | 4                               | 3                  |
| <b>5</b>                | Inversión               | 4                                | 3                               | 2                  |
| <b>6</b>                | Principio de medida     | 3                                | 4                               | 3                  |
| <b>TOTAL DE PUNTOS:</b> |                         | <b>14</b>                        | <b>23</b>                       | <b>11</b>          |

### Interpretación:

**Tabla 16-2** Alternativas de EC individualmente

| <b>Alternativas</b>   |        |        |        |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| <b>Puntos máximos</b> | 1      | 2      | 3      |
| 24                    | 14     | 23     | 11     |
| 100%                  | 55,17% | 95,83% | 42,67% |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

Según los valores obtenidos se ha elegido el sensor de -40-EC de la empresa *Atlas Scientific*, ya que cuenta con el mayor puntaje de ventajas o características necesarias para cumplir las metas planteadas.

Este sensor son muy utilizados en la industria en específico para el tratamiento del agua potable para de este modo obtener alta pureza, además de permitir el monitoreo con alto nivel de precisión, consta con un conector BNC que permite pasar de una señal analógica a una digital y luego mostrarla en la red o donde este programada el resultado de los datos obtenidos.

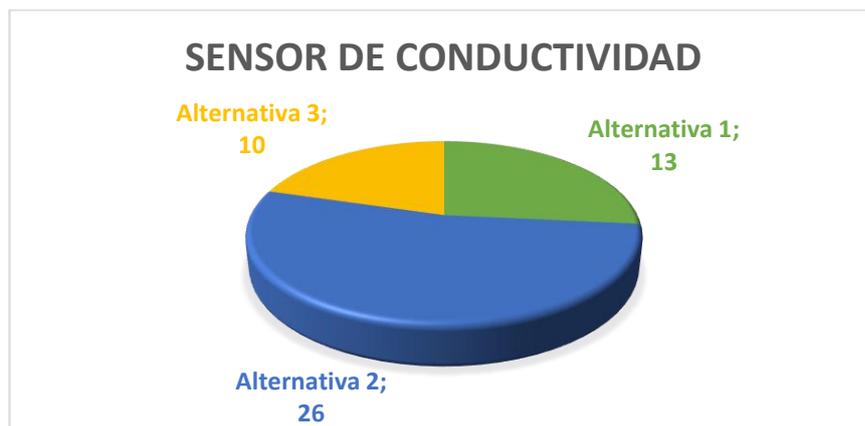
La conductividad es una de las características muy necesarias para obtener una agua con los parámetros necesarios para una purificación adecuada, su configuración es muy sencilla y fácil de interpretación, tiene muchas ventajas en comparación a los otros sensores existentes en el mercado.

Otra de las ventajas más importantes de este sensor es que permite leer 3 parámetros: conductividad, salinidad y total sólidos disueltos. Está hecho con material epoxy, lo cual le da una vida útil larga dentro del agua, y puede trabajar hasta una temperatura de 70 grados Celsius.

**Tabla 17-2** Análisis entre las 3 alternativas de EC

|             | Alternativas |        |        |
|-------------|--------------|--------|--------|
| Puntos      | 1            | 2      | 3      |
| <b>49</b>   | 13           | 26     | 10     |
| <b>100%</b> | 26,53%       | 53,06% | 20,41% |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016



**Figura 14-2** Alternativas para EC

Fuente: YUMI, Sandra, 2016



**Figura 15-2** Sensor ENV-40-EC-K1.0

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Dispositivos adicionales:**

- ✓ Conector BNC hembra
- ✓ Circuito de conductividad



**Figura 16-2** Circuito de EC

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

- ✓ Dos soluciones de calibración



**Figura 17-2** Soluciones de calibración

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## 2.2. Evaluación de Placas Arduino

Para esta implementación es necesario utilizar dos tarjetas Arduinos, una para el Gateway y el otro para el nodo o también denominado mota, para cumplir a cabalidad los objetivos es necesario un módulo Arduino adecuado y lo principal que exista en el mercado, el Arduino es un microprocesador diseñado para facilitar la tarea del hombre.

Para elegir el arduino más eficiente para el sistema de acuerdo a las necesidades se analizó las características, ventajas y desventajas de las plataformas.

**Tabla 18-1** Valoración de las tarjetas Arduino

| VALORACIÓN |     |     |      |
|------------|-----|-----|------|
| 1          | 2   | 3   | 4    |
| 25%        | 50% | 75% | 100% |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Tabla 19-2** Escala cualitativa para Tarjetas Arduino

|           |          |              |            |          |
|-----------|----------|--------------|------------|----------|
| <b>4</b>  | <b>3</b> | <b>2</b>     | <b>1</b>   | <b>0</b> |
| Muy bueno | bueno    | No muy bueno | Nada bueno | Malo     |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

2.2.1. *Comparativa entre placas Arduino*

**Tabla 20-2** Características de los diferentes Arduinos

| <b>Características</b>     | <b>UNO</b> | <b>ETHERNET</b> | <b>MEGA</b> |
|----------------------------|------------|-----------------|-------------|
| <b>Basado en :</b>         | ATmega328  | ATmega328       | ATmega2560  |
| <b>Voltaje de Entrada</b>  | 7-12V      | 7-12V           | 7-12V       |
| <b>Voltaje del Sistema</b> | 5V         | 5V              | 5V          |
| <b>Entradas Analógicos</b> | 6          | 6               | 16          |
| <b>Memoria SRAM</b>        | 2KB        | 2KB             | 8KB         |
| <b>Costo</b>               | \$23,00    | \$30,00         | \$38,00     |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Tabla 21-2** Valoración de las características para tarjetas Arduino

| <b>Importancia</b> | <b>Características</b> | <b>UNO</b> | <b>ETHERNET</b> | <b>MEGA</b> |
|--------------------|------------------------|------------|-----------------|-------------|
| <b>1</b>           | Microcontrolador       | 4          | 4               | 3           |
| <b>2</b>           | Voltaje de Entrada     | 3          | 3               | 3           |
| <b>3</b>           | Voltaje del Sistema    | 3          | 3               | 3           |
| <b>4</b>           | I/O Digitales          | 4          | 3               | 4           |
| <b>5</b>           | Entradas Analógicos    | 2          | 2               | 3           |
| <b>6</b>           | Memoria SRAM           | 2          | 2               | 3           |
| <b>7</b>           | Costo                  | 4          | 3               | 1           |
| <b>TOTAL</b>       |                        | 34         | 31              | 34          |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

A continuación se describirá las características de los arduinos con sus microcontroladores:

### **Arduino MEGA**

Es un tipo de dispositivos que cuenta con un mayor número de pines, está basado en el microprocesador ATmega2560, consta de 54 pines que pueden ser de entrada o salida, esto depende de su configuración, trabaja sobre un voltaje de 5 a 16 voltios, es una de las plataformas más robustas por lo cual es considerado el número uno en el mercado de los arduinos para implementaciones.

### **Arduino Uno.**

Este arduino fue uno de los arduinos que salió primero en el mercado, es por esta razón que los demás módulos lo toman como base, está constituido por 14 pines y su Microcontrolador es de ATmega328 que oscila internamente ahorrando su energía .se conecta a una USB que puede servir como fuente de alimentación, además contiene un programa denominado USART 2 cables de serie.

### **Arduino Ethernet**

Es un dispositivo muy utilizado en aplicaciones de domótica y seguridad ya que este pequeño hardware posee una interface con la web en tiempo real lo que permite tener datos confiables y como es lógico se puede mostrarlo en cualquier parte de la red mundial.

### **Interpretación:**

**Tabla 22-2** Análisis de las características

| <b>Alternativas</b>   |        |        |        |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| <b>Puntos máximos</b> | 1      | 2      | 3      |
| 44                    | 34     | 31     | 34     |
| 100%                  | 73,72% | 66,18% | 73,72% |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

En esta ocasión se analizaron 4 equipos que son desarrollados por la empresa Arduino Software, los que comparten elementos similares entre sí como les que se analizaron anteriormente, obteniendo como resultado porcentaje de similares.

En nuestro tema una de las principales características a analizar es la eficiencia de los equipos frente al consumo de energía ya que los nodos finales están instalados a distancias considerables de puntos de energía, la solución más óptima para estos escenarios es un consumo mínimo de energía y el hardware que cumple con estas características es el 0061rduino mega 2560 además de un eficiente funcionamiento con los protocolos y equipos adicionales a utilizar

### **2.3. Evaluación de Módulos Xbee**

En el análisis de los módulos Xbee se utiliza una aplicación específica para saber el hardware más óptimo en nuestro propósito de comunicación con 6lowpan, la aplicación a utilizar es NS-2 montada en el sistema operativo CentOS, dicho programa fue creado con el fin de analizar parámetros esenciales en la red de sensores inalámbricos de los cuales que los analizaremos tres a continuación

- Cobertura
- Consumo Energético
- Tráfico

### 2.3.1. *Análisis de Cobertura*

El análisis que se realiza a continuación es para determinar un valor aproximado de cobertura analizando aspectos relevantes de diferentes modelos de Xbee, entre estos aspectos se tomara en cuenta la ganancia, potencia de los equipos y pérdidas del enlace.

#### ❖ **Versión: Xbee Serie 2**

Los datos que se encuentra en el Datasheet, son parámetros iniciales que servirán para el análisis de propagación de la versión Xbee serie 2, algunos datos son los siguientes:

**Tabla 23-2** Datos Xbee Series 2

| <b>SPECIFICATION</b>                             | <b>XBEE SERIES 2</b>                                     |
|--|--|
| <b>PERFORMANCE</b>                               |  |
| Indoor/ Urban Range                              | Up to 133 ft (40m)                                       |
| Outdoor Rf line –of –sight Range                 | Up to 400 ft (120m)                                      |
| Transmit Power Output (software selectable)      | 2mW (+3dbm)  |
| RF Data Rate                                     | 250000 bps   |
| Serial Interface Data Rate (software selectable) | 1200-230400 bps (non-standard baud rates also supported) |
| Receiver Sensitivity                             | -95 dbm (1% packet error rate)                           |
| <b>POWER REQUIREMENTS</b>                        |  |
| Supply Voltage                                   | 2,8 -3,4 V   |
| Operating Current (Transmit)                     | 40mA (@3,3 V)  |
| Operating Current (Receive)                      | 40mA (@3,3 V)  |
| Power – Down Current                             | < 1uA @ 25° C  |
| <b>GENERAL</b>                                   |  |
| Operating Frecuency Band                         | ISM 2,4 GHz  |

Fuente: (Digi, 2015)

❖ **Versión: Xbee Pro 2,4GHz**

Para realizar los cálculos del análisis de propagación de la versión Xbee Pro 2,4GHz, se usará la información de la tabla 24-2 que tiene los parámetros iniciales que sirven como base para realizar los cálculos.

**Tabla 24-2** Datos Xbee Pro 2,4GHZ

| <b>SPECIFICATION</b>                             | <b>XBEE PRO</b>  |
|--|--|
| <b>PERFORMANCE</b>                               |  |
| Indoor/ Urban Range                              | Up to 300 ft (90m), up to 200 ft (60m) international variant   |
| Outdoor Rf line –of –sight Range                 | Up to 1 mile (1600m), up to 2500 ft (750m) International Variant   |
| Transmit Power Output (software selectable)      | 63mW (18dbm)   |
| RF Data Rate                                     | 250000 bps   |
| Serial Interface Data Rate (software selectable) | 1200-230400 bps (non-standard baud rates also supported)   |
| Receiver Sensitivity                             | -100 dbm (1% packet error rate)  |
| <b>POWER REQUIREMENTS</b>                        |  |
| Supply Voltage                                   | 2,8 -3,4 V   |
| Transmit Current (typical)                       | 250 mA (@3,3 V) (150mA for International variant) RPSMA module only: 340mA (@3,3V) (180mA for International variant) |
| Operating Current (Receive)                      | 55mA (@3,3 V)  |
| Power – Down Current                             | < 10uA   |
| <b>GENERAL</b>                                   |  |
| Operating Frecuency Band                         | ISM 2,4 GHz  |
| Dimensions                                       | 0.960” x 1,297” (2,438cm x 3,294cm)  |

Fuente: (Digi, 2015)

❖ **Versión Xbee Pro 900MHz**

Para realizar los cálculos del análisis de propagación de la versión Xbee Pro 900MHz, se usará la información de la tabla 27-2 que tiene los parámetros iniciales y que sirven como base para realizar los cálculos.

**Tabla 25-2** Datos Xbee Pro 900MHZ

| <b>SPECIFICATION</b>                             | <b>XBEE PRO</b>   |
|--|---|
| <b>PERFORMANCE</b>                               |   |
| Indoor/ Urban Range                              | Up to 450 ft (140m)   |
| Outdoor Rf line –of –sight Range                 | Up to 1.8 mile (3km) w/2.1 db dipole antenna up to 6 miles (10km) w/high gain antenna |
| Transmit Power Output (software selectable)      | 50mW (17dbm)  |
| RF Data Rate                                     | 156.25kbps  |
| Serial Interface Data Rate (software selectable) | 3.3V CMOS Serial UART (5V tolerant UART)  |
| Receiver Sensitivity                             | -100 dbm  |
| <b>POWER REQUIREMENTS</b>                        |   |
| Supply Voltage                                   | 3,0 -3,6 VDC  |
| Transmit Current (typical)                       | 210 mA, (150mA typical)   |
| Operating Current (Receive)                      | 80mA  |
| Power – Down Current                             | 60uA typical @3,3V  |
| <b>GENERAL</b>                                   |   |
| Operating Frequency Band                         | 902-928 MHz (ISM)   |
| Dimensions                                       | 0.960” x 1,312” (2,443cm x 3,332cm)   |
| Operating Temperature                            | -40 to 85° C (Industrial), 0 to 95% non-condensing                                    |
| Antenna Options                                  | Integrated whip, chip, RPSMA, or U.FL Connector                                       |

Fuente: (Digi, 2015)

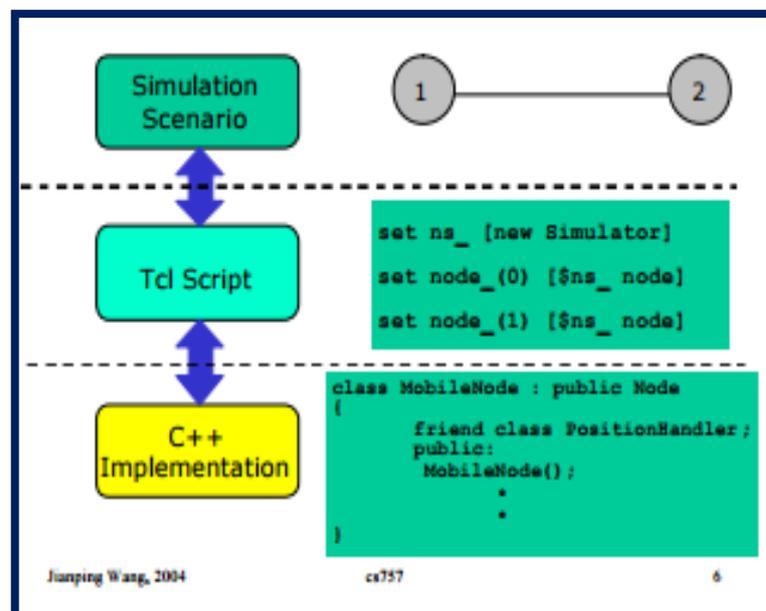
### 2.3.2. Análisis de Eficiencia Energética y Tráfico

Para la evaluación de las variables de tráfico y eficiencia energética de la WSN de este trabajo se usó el software NS-2 en donde es posible realizar simulaciones computacionales de un WSN.

Primeramente se estableció los componentes que intervienen dentro de la estructura de la simulación, estos se configuran en el siguiente orden:

- ✓ Crear el objeto simulador
- ✓ Creación de registro de eventos
- ✓ Creación y configuración de los nodos de la red
- ✓ Configurar secuencia de eventos
- ✓ Ejecución de instrucciones

Para empezar con la programación se debe crear un fichero con la extensión .tcl luego proceder a estructurar el programa de la WSN basada en el estándar 802.15.4 teniendo en cuenta la estructura descrita anteriormente, luego se ejecuta la simulación para obtener los resultados de las trazas que da el simulador NS-2.



**Figura 18-2** Estructura de programación en el Simulador NS-2

Fuente: (Wang J, 2004)

## Parámetros de simulación

El simulador NS-2 permite la configuración de parámetros de red que van a ser evaluados en cada versión de módulos Xbee, estos parámetros se ingresa en un escenario de simulación y permitirá evaluar el impacto de diferentes tipos de tráfico de red. Algunos de los parámetros se describen a continuación junto con su configuración:

❖ **Topología de red:** el escenario de implementación de la WSN es una zona urbana, tiene diez tanques distribuidores de agua con la que se abastecen todos los habitantes. Este escenario se determina como una topología tipo árbol ya que se establecen caminos entre los nodos para transmitir la información de un nodo final a un nodo coordinador, en este caso el envío de la información de cada tanque a las oficinas.

❖ **Parámetros de la versión 6LoWPAN:** algunos de los parámetros a usar en la simulación son los siguientes:

- Sensibilidad
- Potencia transmitida
- Potencia Recibida
- Frecuencia

Los valores para estos parámetros se encuentran en cada datasheet, como las principales características de cada una de las versiones.

❖ **Parámetros del simulador NS-2:** dentro del software los parámetros a usar son:

- Canal
- Estándar
- Interfaz
- Numero de nodos
- Distancia entre nodos

## Proceso de la simulación

Para la configuración de la simulación en NS-2, el primer paso es generar un nuevo escenario de simulación en el archivo .tcl, a continuación se muestran las siguientes instrucciones:

La línea de comandos que se presenta genera el archivo con extensión .tr este guarda todas las trazas donde cada una de las líneas describe los paquetes enviados, paquetes recibidos paquetes encolados y paquetes sacados de la cola.

```
set ns_          [new Simulator]
set tracefd      [open Simulacion.tr w]
$ns_ trace-all $tracefd
if { "$val(nam)" == "Simulacion.nam" } {
    set namtrace [open ./$val(nam) w]
    $ns_ namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)
    $ns_ use-newtrace
}
```

Se debe crear el espacio donde se va a desarrollar la simulación para esto se crea el objeto Topography y también el objeto god\_ que conjuntamente con el objeto topography se encargan de la gestión de los enlaces de los nodos, a continuación se describen las instrucciones necesarias:

```
#Configuración de objeto topography
set topo          [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
#Creacion del God
set god_ [create-god $val(nn)]
set chan_1_ [new $val(chan)]
```

### ❖ Consumo energético

El simulador NS-2 para el análisis de utilización de la energía hace uso de un modelo de consumo energético, se basa en las características que se establecen sobre el nodo de la red, en el cual se incluyen la potencia de transmisión del nodo y la energía inicial.

Según se vaya dando la simulación se van restando los valores de la energía inicial del nodo, al final se obtiene un aproximado de la energía que se ha consumido en la red dependiendo de los datos que se registren en una traza ya sean estos por la transmisión y recepción de datos.

#### ❖ **Tráfico de la Red**

Mediante las trazas que realiza el simulador NS-2 se puede obtener datos de los paquetes enviados, recibidos y perdidos por cada evento dentro de la red, con estos datos y mediante cálculos con fórmulas podemos obtener Throughput (tasa de transferencia) y la tasa de entrega de paquetes de cada versión Zigbee.

$$\textit{Throughput} = \textit{Cantidad de Datos} / \textit{Tiempo de Simulacion}$$

#### **Simulación de las versiones Xbee**

Para determinar el módulo Xbee adecuado para la implementación de la WSN, se realiza la evaluación de tres módulos, utilizando las simulaciones computacionales realizadas en NS-2.

#### ❖ **Simulación de la Versión Xbee Serie 2**

Como se mostró anteriormente en la configuración de la simulación, se escribe en las líneas de comando lo necesario para que este funcione, además de aumentar las líneas de comando con los principales datos encontrados en el Datasheet de cada una de las versiones Zigbee como la sensibilidad la potencia de recepción.

De esta manera con la ejecución del archivo de simulación se obtiene datos de los paquetes enviados, paquetes recibidos, el consumo energético, la tasa de entrega de paquetes y el throughput.

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS

Para determinar los resultados del presente trabajo fue necesaria la implementación del prototipo Inalámbrico para realizar pruebas de funcionamiento y llegar a la determinación de las ventajas que presenta el siguiente trabajo.

#### 3.1. Diseño del Prototipo Inalámbrico

Una vez realizado el estudio comparativo entre los dispositivos a usarse sobre todo los modelos de X-Bee que utiliza el estándar IEEE 802.15.4 se procedió con el diseño del prototipo funcional que por la ubicación de los tanques distribuidores de agua potable se debe usar una topología de tipo árbol debido al escenario que presenta.

Se considera como componentes principales en la arquitectura de una WSN:

- Nodos sensoriales
- Nodos coordinadores
- Interfaz gráfica para procesamiento de datos

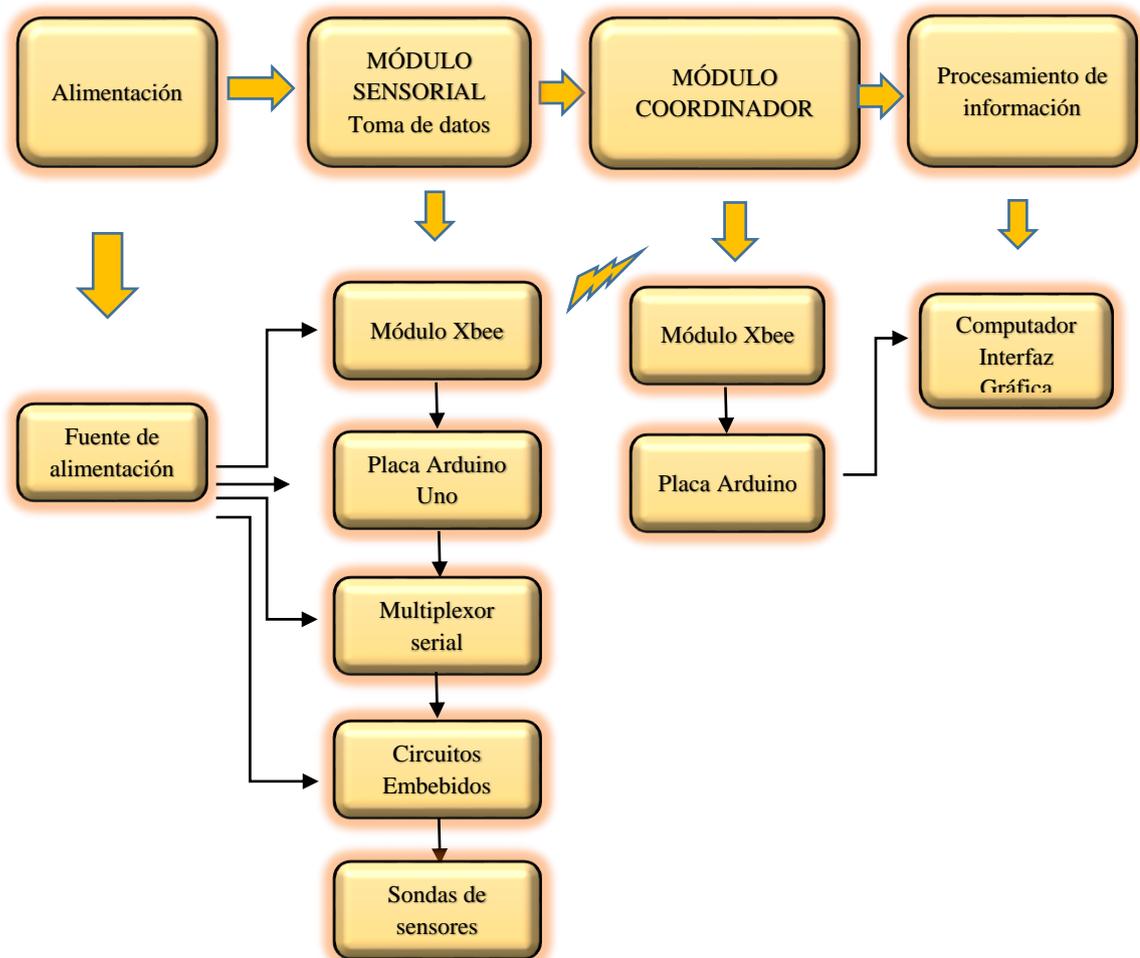
El nodo sensorial o mota contiene cuatro sensores para mediciones de pH, DO, ORP y Conductividad, los cuales tienen conexión BNC y que se conectan a un circuito embebido para su calibración y procesamiento de datos. Después por medio de transmisión serial es enviada la información.

Para disminuir la cantidad de conexiones hacia la placa Arduino, se utilizó un multiplexor serial, el cual contiene dos pines de control que se conectan a la placa Arduino Uno, por lo que se pueden emplear los 4 sensores electroquímicos (pH, DO, ORP, conductividad).

En cuanto al nodo coordinador es el que se encarga de recibir la información por medio de comunicación inalámbrica y ésta es enviada a un computador para que sea mostrada por medio de una interfaz gráfica desarrollada en Labview y se pueda realizar una correcta interpretación de los datos así como enviar informes en Excel cuando se requiera, además que al encontrarse algún parámetro fuera de sus límites permisibles muestra una alerta.

Para la comunicación inalámbrica se configuró los módulos Xbee elegidos por medio de un análisis, para que la información obtenida por el nodo sensorial o mota final ubicada en el tanque distribuidor de agua potable sea enviada al nodo coordinador.

### 3.1.1. Diagrama de bloques del Prototipo Inalámbrico



**Figura 1-3** Diagrama de bloques del prototipo Inalámbrico

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## 3.2. Configuración del Prototipo Inalámbrico

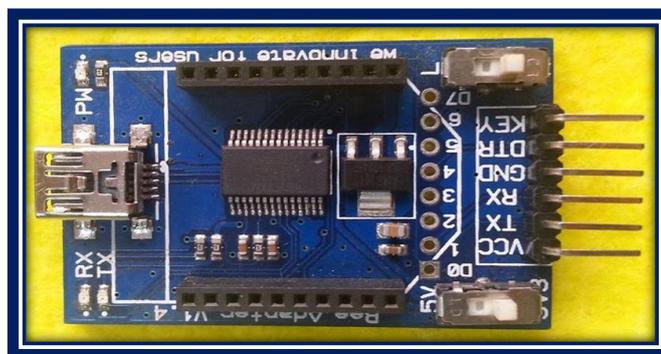
### 3.2.1. Configuración del nodo coordinador

Esta etapa es considerada la de mayor importancia, ya que es la encargada de recolectar la información proveniente del nodo sensorial o mota que se encuentra en los tanques distribuidores de agua; para que esto sea posible se utilizó una placa arduino Mega por optimización de recursos y el módulo Xbee como componentes principales.

Otra de las razones de su importancia es que en base a este nodo se constituirá la WSN porque se le otorgará un identificador de red en la configuración de Xbee (dirección PAN ID) y será el responsable de establecer el canal de comunicación; cuando éstos parámetros hayan sido proporcionados correctamente, el nodo coordinador estará listo para añadir a la red dispositivos finales.

#### 3.2.1.1. Configuración de módulo Xbee para nodo coordinador

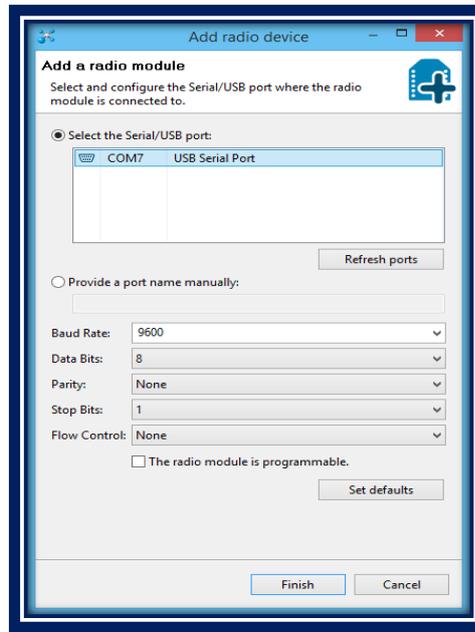
En este apartado se detalla la configuración del módulo emisor de datos hacia el nodo coordinador y para esto fue necesario el uso de la multiplataforma desarrollada por Digi llamada X-CTU en la cual es obligatorio establecer determinados parámetros para lograr una correcta comunicación.



**Figura 2-3** Xbee Explorer USB

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

Se debe escoger el puerto COM en el que se está leyendo la información del módulo a configurar, en este caso es el Puerto COM 7, además muestra otros parámetros que se los puede cambiar como los baudios a los que trabaja el computador con la plataforma, los bits de datos, la paridad y los bits de parada, para posteriormente establecer los parámetros más importantes de configuración de conexión del módulo Xbee.



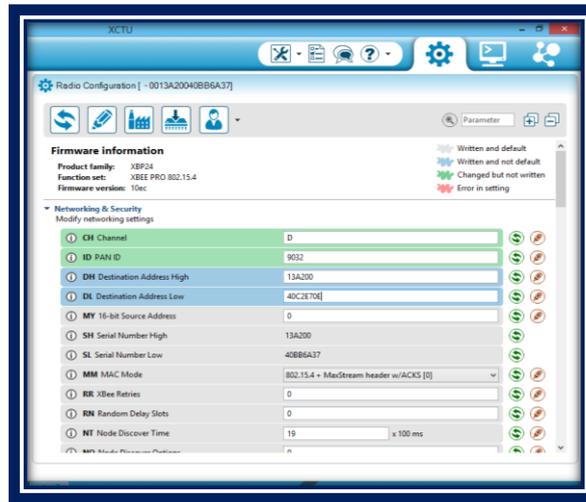
**Figura 3-3** Configuración del puerto

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

Posteriormente se deben definir los valores de determinados parámetros que se encuentran dentro de la carpeta “Networking & Security” y que después de su configuración permiten que el módulo Xbee funcione como módulo coordinador dando paso a que se pueda configurar el módulo Xbee del nodo sensorial para que la comunicación se realice con éxito; los parámetros se detallan a continuación:

- Se ha elegido el Canal D porque es el que menor interferencia presenta en la comunicación, es así que se podría elegir entre 16 canales según el protocolo IEEE 802.15.4, esta norma indica que entre cada canal deben existir 5 MHz de diferencia partiendo de la frecuencia base 2,405 GHz se llega hasta los 2,480 Ghz, el módulo Xbee se encontrará en el canal 13 entre las frecuencias 2.4125 GHz y 2.4175 Ghz (Villarroel, 2010, p.116).
- EL Pan ID o identificador de red se configurará con un valor de 9032.

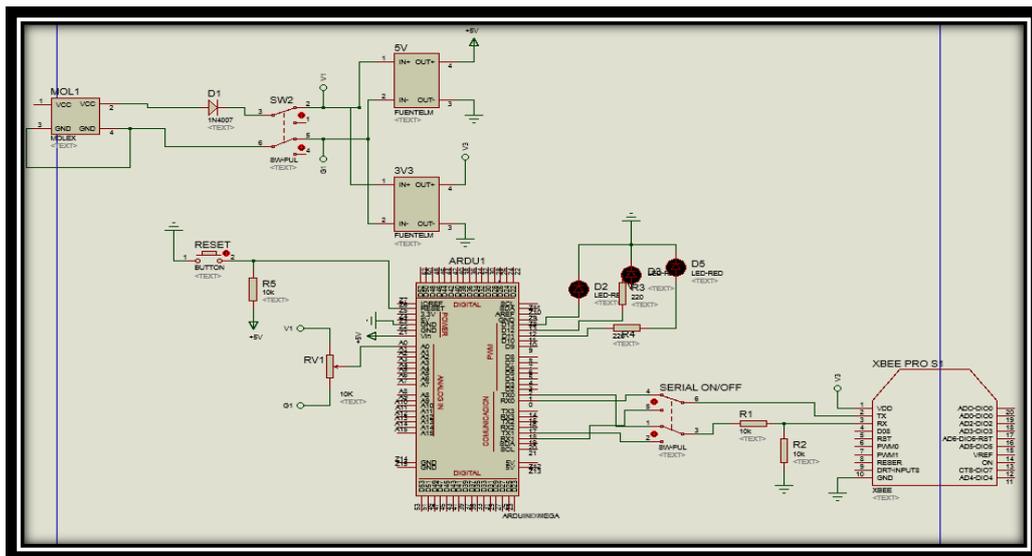
- DH, dirección destino alta y DL, dirección de destino baja se configuró con un valor de 13A200 y 40C2E70E respectivamente pues son los valores que los módulos Xbee tienen en la parte trasera; el valor de DL es el valor que tiene el módulo que va a estar en el nodo sensorial.
- Los parámetros como el SH, Serial Number High y el SL, Serial Number Low no se los puede modificar porque estos son los identificadores de cada módulo Xbee.



**Figura 4-3** Configuración módulo Xbee como coordinador

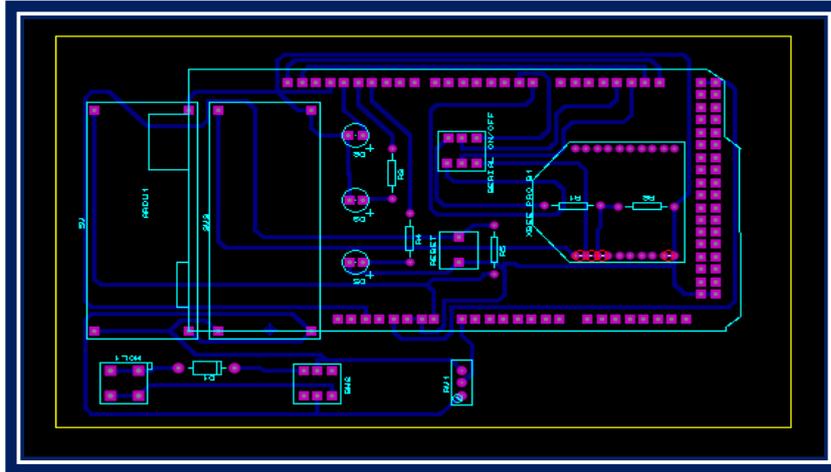
Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## Estructura de conexiones



**Figura 5-3** Diagrama esquemático nodo coordinador

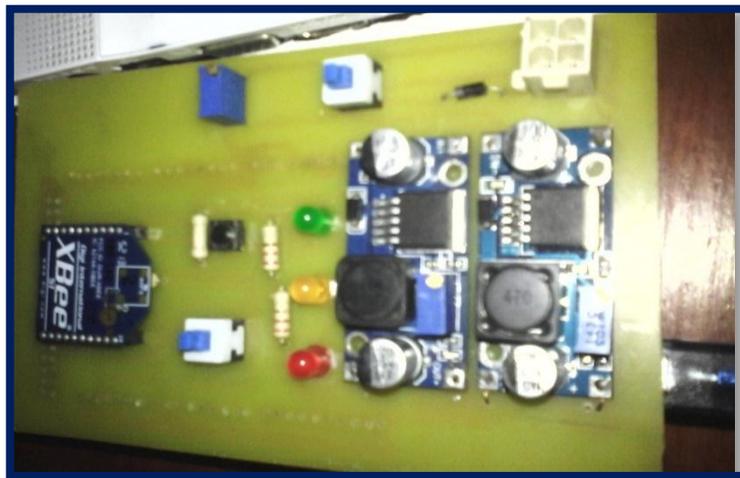
Fuente: YUMI, Sandra, 2016



**Figura 6-3** Diagrama de conexiones nodo coordinador

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## Dispositivo Final



**Figura 7-3** Dispositivo final nodo coordinador

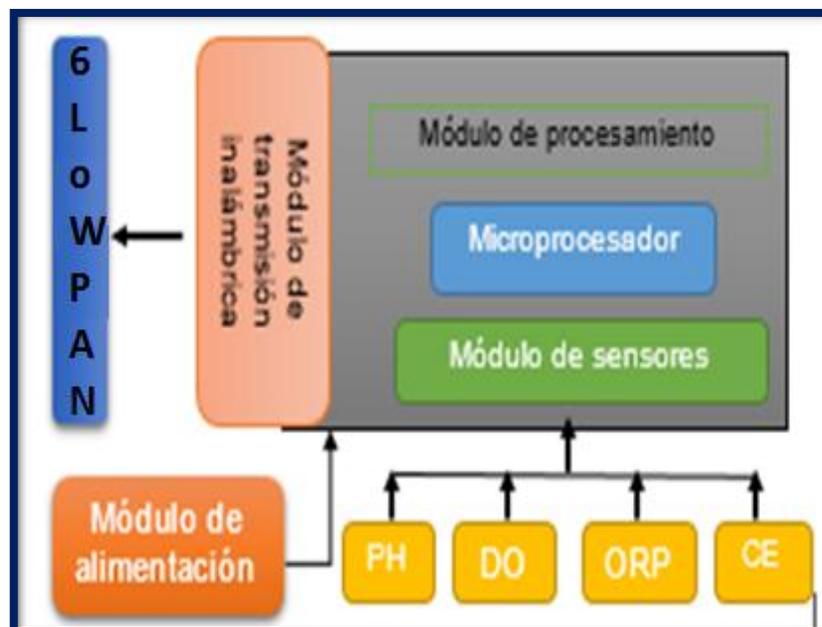
Fuente: YUMI, Sandra, 2016

La placa del dispositivo del nodo coordinador posee la tarjeta Arduino Mega en la parte trasera para un mejor diseño, además de los reguladores de voltaje posee tres pulsadores; el pulsador negro sirve para resetear el circuito, el pulsador que se encuentra cerca de los reguladores de voltaje sirve para encender y apagar el circuito y el último pulsador tiene como función cortar la comunicación entre módulos Xbee.

### 3.2.2. Configuración del nodo sensorial

En este caso se trata del desarrollo de un sistema de monitoreo constante de calidad de agua, la función que debe cumplir el nodo sensorial es la recolección de datos de los niveles de factores como potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción y conductividad.

Para lograr la correcta lectura de estos factores el nodo sensorial ha sido diseñado con cuatro módulos: módulo de sensores, módulo de procesamiento, módulo de transmisión inalámbrica y módulo de alimentación.



**Figura 8-3** Arquitectura del nodo coordinador

Fuente: Erazo, 2014, p.120

#### 3.2.2.1. Configuración del Módulo de Sensores

Este módulo está conformado por la agrupación de sensores los cuales tienen como objetivo recoger la información de calidad de agua, este caso de estudio los valores de potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción y conductividad por medio de los sensores seleccionados.

Fue necesario realizar la calibración de las sondas en base a los límites máximos permisibles establecidos en el libro TULSMA (Normas INEN 1108) para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren tratamiento convencional así como también datos de la OMS (TULSMA, 2014).

Se realizó la calibración individualmente de cada sensor utilizando el software que proporciona la empresa *Atlas Scientific* para esta tarea, primero se cargó la programación en la placa arduino, después se realizó la conexión correspondiente entre la sonda, circuito embebido, placa arduino y se prosiguió a la calibración con la ayuda de las soluciones calibradoras, los valores de calibración se guardan en la memoria EEPROM del embebido por lo que no se perderán al apagarse el circuito.

### **Calibración del sensor de pH**

- ❖ Retirar la sonda de la solución de mantenimiento
- ❖ Secarla con una toalla fina
- ❖ Introducir la sonda a la solución de pH 7,00
- ❖ Enviar el comando “cal,mid,7,00”
- ❖ Dejar que se estabilice a un valor de 7,00
- ❖ Nuevamente secarla e introducirla a la solución de pH 4,00
- ❖ Enviar el comando “cal,low,4,00”
- ❖ Esperar hasta que se estabilice a un valor de 4,00
- ❖ Secarla e introducirla a la solución de pH 10,00
- ❖ Enviar el comando “cal,high,10,00”



**Figura 9-3** Comandos de calibración para la sonda de pH

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### Calibración del sensor de ORP

- ❖ Retirar la sonda de la solución de mantenimiento
- ❖ Secarla con una toalla fina
- ❖ Introducir la sonda en la solución de calibración
- ❖ Ingresar el comando “cal,650”

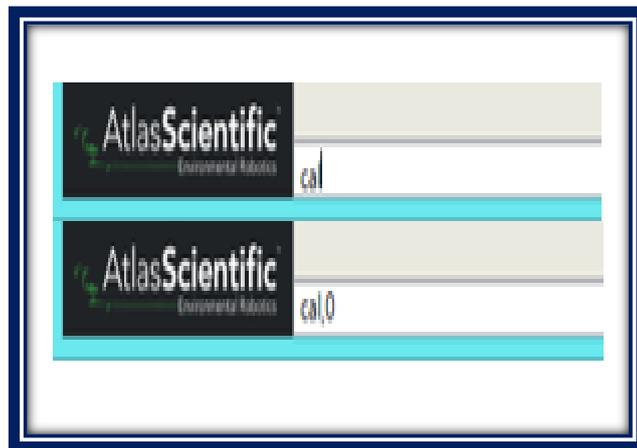


**Figura 10-3** Comandos de calibración para la sonda de ORP

Fuente: Yumi S, 2016

### Calibración del sensor de DO

- ❖ Retirar la tapa de la probeta
- ❖ Colocar la probeta en la solución 0 DO
- ❖ Ingresar el comando “Cal”
- ❖ Dejar que las lecturas caigan y se estabilicen
- ❖ En caso que la lectura no llegue a 0 calibrar usando el comando “Cal,0”
- ❖ Esperar de 3 a 5 minutos

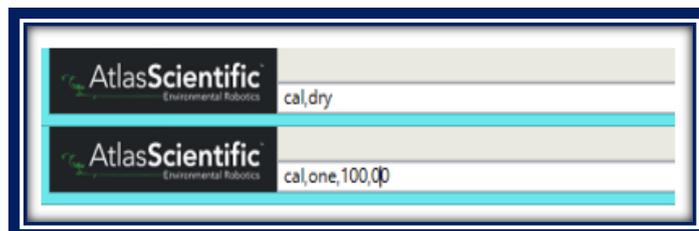


**Figura 11-3** Comandos de calibración para la sonda de DO

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### Calibración del sensor de conductividad eléctrica

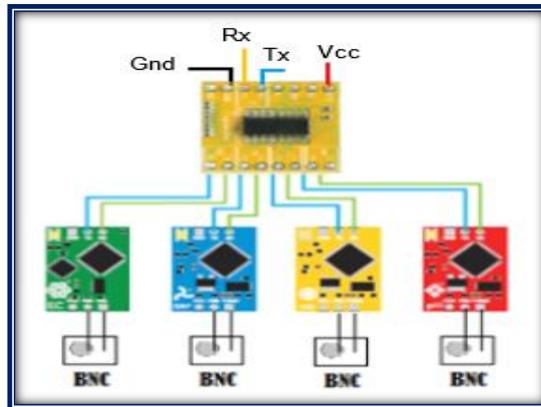
- ❖ Retirar la tapa de la sonda
- ❖ Calibrar en seco mediante el comando “cal,dry”
- ❖ Ingresar el comando “cal,one,100,0”
- ❖ Introducir en la solución de 80,00



**Figura 12-3** Comandos de calibración para la sonda de CE

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

Una vez calibrados los sensores se procedió a la conexión con el multiplexor para disminuir la utilización de puertos en la placa arduino como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 13-3** Diagrama de cableado de embebidos y multiplexor

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### 3.2.2.2. *Configuración módulo de procesamiento (Arduino)*

Este módulo se lo desarrolla con el uso de la plataforma de hardware libre Arduino, la cual recibe los datos de cada uno de los sensores. Una vez que los datos son recibidos el microprocesador los convierte en un formato para unirlos y posteriormente enviarlos mediante el módulo de transmisión. Como se describió en el apartado 2.2 para el módulo de procesamiento del nodo sensorial se usó una placa Arduino Uno.

El módulo de sensores funciona de acuerdo a la configuración que se realizó en el módulo de procesamiento que se encuentra contenido dentro de la placa Arduino. La programación realizada en el módulo de procesamiento hace posible el funcionamiento de cada proceso que realiza el nodo sensorial que va desde la adquisición de datos por parte de los sensores el procesamiento de la misma y el envío mediante la interfaz inalámbrica Xbee.

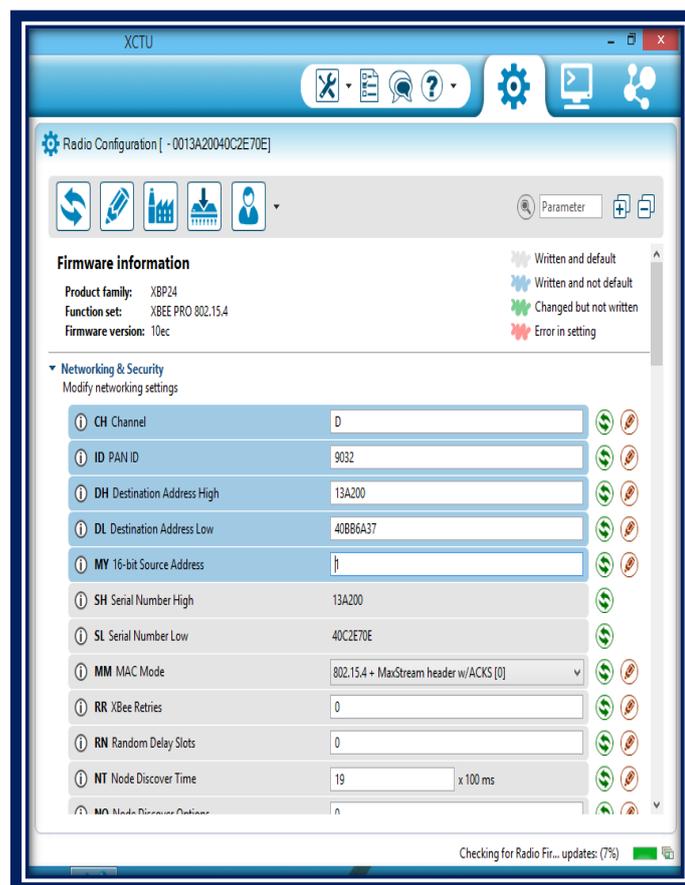
### 3.2.2.3. *Configuración del módulo Xbee para nodo sensorial*

Para la correcta configuración y posterior funcionamiento del módulo Xbee Sensorial el cual es el módulo emisor de datos hacia el nodo coordinador y al igual que en la configuración del módulo

Xbee coordinador fue necesario el uso de la multiplataforma X-CTU en la cual es indispensable establecer parámetros de acuerdo a los acordados en el Xbee coordinador, entre otros; cabe recalcar que esto se hace dentro de la carpeta “Networking & Security”.

Para que opere como un nodo sensorial inalámbrico dentro de la WSN, las configuraciones se detallan a continuación:

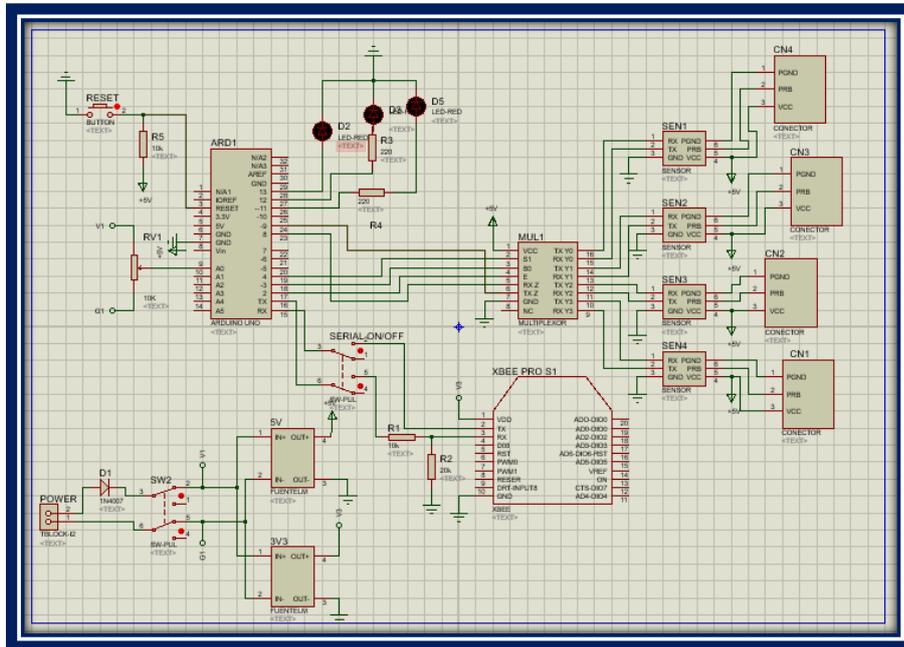
- El canal que se configuró es el canal D, como ya se estableció en el nodo coordinador.
- El identificador de red debe ser obligatoriamente igual que el canal del nodo coordinador que en este caso el PAN ID tiene el valor 9032.
- DH, dirección destino alta, su valor debe ser 13A200 y DL debe tener el SL del nodo coordinador es decir, 40BB6A37



**Figura 14-3** Configuración módulo Xbee como mota

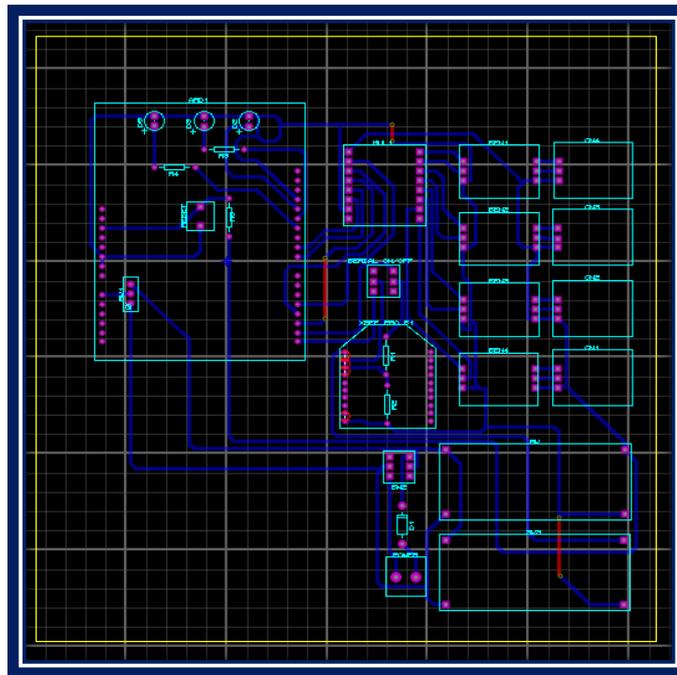
Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## Diagrama de conexiones del nodo sensorial



**Figura 15-3** Diagrama esquemático nodo sensorial

Fuente: YUMI, Sandra, 2016



**Figura 16-3** Diagrama de conexiones nodo sensorial

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## Dispositivo final

Una vez realizadas la configuración en cada módulo del nodo sensorial, se los acopló en una sola placa con todos sus componentes ensamblados en un solo dispositivo listo para ser implementado en el lugar que corresponda.

La placa del dispositivo del nodo sensorial al igual que la del coordinador posee la tarjeta Arduino Uno en la parte trasera, también posee tres pulsadores; el pulsador negro sirve para resetear el circuito, el pulsador que se encuentra cerca de los reguladores de voltaje sirve para encender y apagar el circuito y el último pulsador tiene como función cortar la comunicación entre módulos Xbee.

Posee tres diodos indicadores con las siguientes funciones:

- **Diodo rojo:** Se enciende cuando se está programando.
- **Diodo naranja:** Se enciende cuando el programa está corriendo.
- **Diodo Verde:** Indica encendido y apagado



**Figura 17-3** Dispositivo final nodo sensorial

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### 3.2.3. *Aplicación de escritorio para usuario final*

La información obtenida en el nodo sensorial o mota es enviada hacia el nodo coordinador, todos los datos son recibidos de manera conjunta y deben ser procesados para su entendimiento por el nodo coordinador, razón por la cual fue necesario el desarrollo de un software que sea útil y manejable para los usuarios finales en donde se puede analizar e interpretar los datos obtenidos.

La comunicación entre el nodo coordinador y el software es de manera serial, se debe seleccionar el puerto COM para que el software empiece a recibir los datos del nodo coordinador y muestre la información de una manera de fácil entendimiento para quienes la van a manejar.

La aplicación se encarga de mostrar la información que recibe del nodo coordinador en tiempo real y poder visualizar los valores de pH, DO, ORP y conductividad los cuales determinan la calidad de agua que se está brindando a los habitantes para consumo humano y se puedan tomar las medidas pertinentes en cuanto a su proceso de potabilización.

Para el adecuado monitoreo del agua se definió alarmas en los parámetros con valores máximos y mínimos permisibles que serán obtenidos por el nodo sensorial de la WSN, además esta aplicación es capaz de generar reportes en Excel.

La aplicación de monitoreo se la hizo en Labview y en ésta se visualiza la información que es emitida por el nodo sensorial o mota de los cuatro sensores que se usaron para determinar la calidad de agua.



**Figura 18-3** Portada de la aplicación en Labview

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### 3.3. Pruebas de Funcionamiento del Prototipo Inalámbrico

Para las pruebas de funcionamiento se realizó en dos escenarios diferentes, es decir en los tanques de la Saboya y San José de Tapi, ya que ambos reciben agua de diferente vertiente.

#### ❖ Punto 1



**Figura 19-3** Ubicación del nodo sensorial en el tanque San José de Tapi.  
Fuente: YUMI, Sandra, 2016

#### ❖ Punto 2



**Figura 20-3** Ubicación del nodo sensorial en el tanque Saboya.  
Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### 3.3.1. Datos obtenidos con el prototipo de WSN para calidad de agua

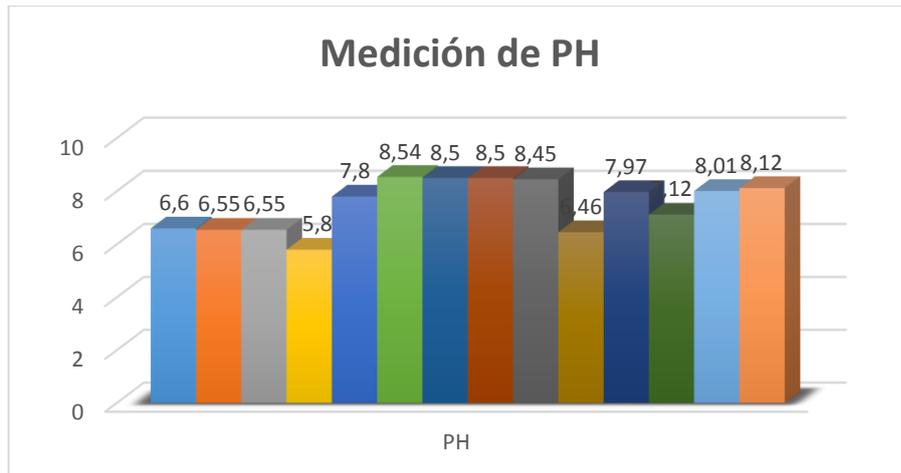
**Tabla 1-3** Datos obtenidos con el prototipo funcional

| Fecha                | Datos Punto 1     |        |         |       |          |         | Datos Punto 2     |        |         |       |          |         |
|----------------------|-------------------|--------|---------|-------|----------|---------|-------------------|--------|---------|-------|----------|---------|
|                      | PH Unidades de pH | ORP mV | DO mg/L | EC us | TDS mg/L | SAL ups | PH Unidades de pH | ORP mV | DO mg/L | EC us | TDS mg/L | SAL ups |
| Lunes 02/05/2016     | 6,59              | 623    | 8,85    | 780   | 422      | 0,38    | 6,16              | 571    | 7,9     | 347   | 185      | 0,16    |
| Martes 03/05/2016    | 6,52              | 623    | 8,84    | 780   | 422      | 0,38    | 7,98              | 571    | 8       | 345   | 186      | 0,16    |
| Miércoles 04/05/2016 | 6,55              | 793    | 8,85    | 780   | 422      | 0,38    | 8,5               | 571    | 8,1     | 345   | 186      | 0,16    |
| Jueves 05/05/2016    | 5,8               | 819    | 8,69    | 780   | 421      | 0,38    | 8,72              | 571    | 8,5     | 345   | 186      | 0,16    |
| Viernes 06/05/2016   | 7,6               | 828    | 8,54    | 780   | 421      | 0,38    | 7,24              | 571    | 7,9     | 349   | 189      | 0,16    |
| Lunes 09/05/2016     | 8,54              | 841    | 8,54    | 780   | 421      | 0,38    | 7,32              | 571    | 8,4     | 349   | 189      | 0,16    |
| Martes 10/05/2016    | 8,5               | 841    | 8,57    | 780   | 421      | 0,38    | 7,82              | 571    | 7,5     | 349   | 189      | 0,16    |
| Miércoles 11/05/2016 | 8,5               | 832    | 8,72    | 777   | 419      | 0,38    | 6,67              | 571    | 7,8     | 352   | 190      | 0,16    |
| Jueves 12/05/2016    | 8,25              | 851    | 8,36    | 777   | 419      | 0,37    | 7,39              | 571    | 8,5     | 330   | 178      | 0,15    |
| Viernes 13/05/2016   | 6,46              | 823    | 7,3     | 774   | 419      | 0,37    | 7,49              | 571    | 7,6     | 330   | 178      | 0,15    |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### Análisis estadístico de pH

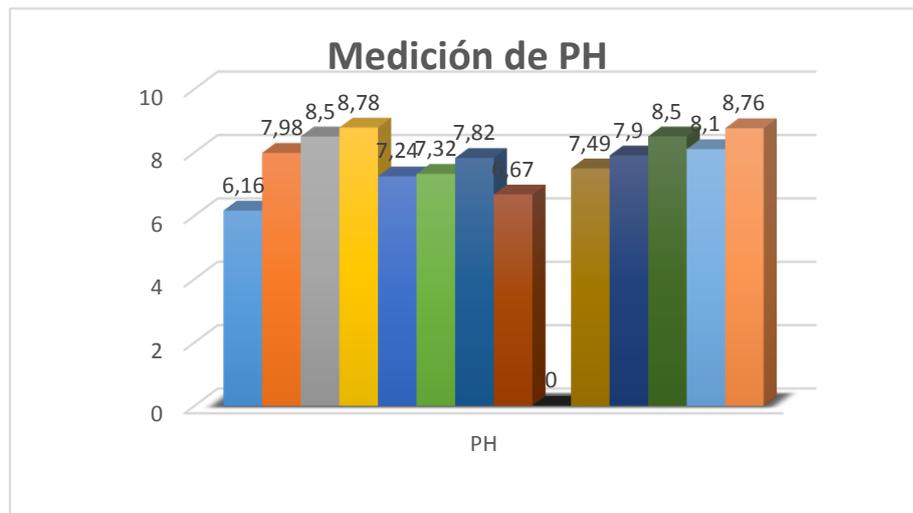
#### ❖ Punto 1



**Figura 21-3** Resultados en el punto 1 de la medición de PH

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

❖ **Punto 2**



**Figura 22-3** Resultados en el punto 2 de la medición de PH

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

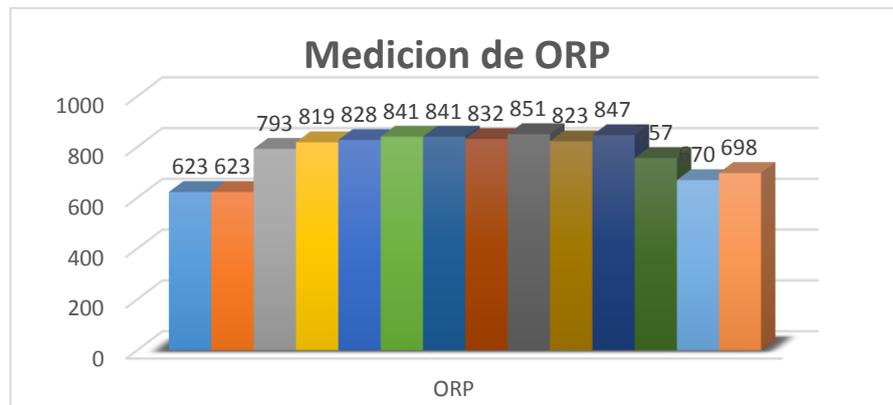
**Interpretación:**

El nivel de pH en los dos puntos analizados se encuentra dentro del rango permisible para este factor, es decir de 6 a 9 upH. Teniendo como resultado que el agua no es ni poco ácida ni muy

ácida y que el agua que se consume, cumple con las condiciones establecidas para el consumo humano en éste parámetro analizado.

### Análisis estadístico de ORP

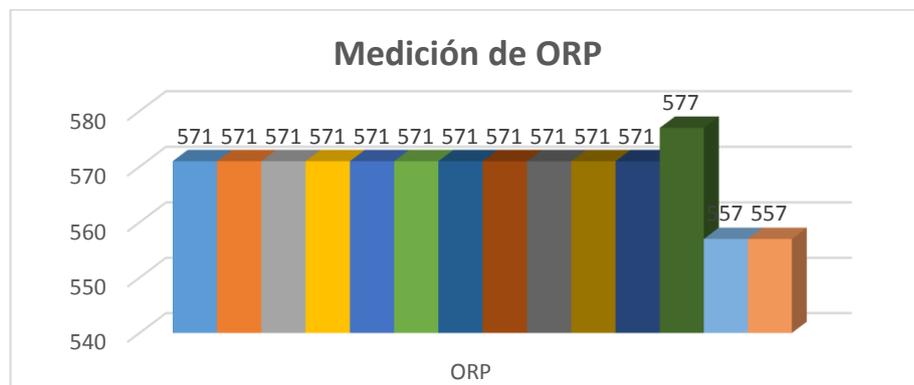
#### ❖ Punto 1



**Figura 23-3** Resultados en el punto 1 de la medición de ORP

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

#### ❖ Punto 2



**Figura 24-3** Resultados en el punto 2 de la medición de ORP

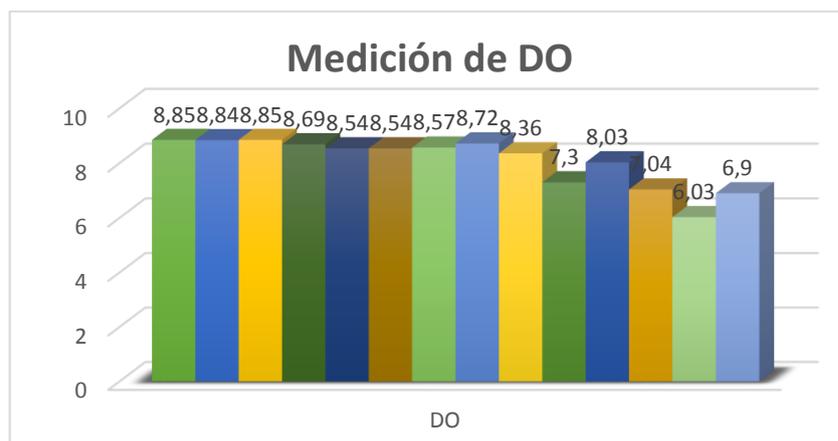
Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### Interpretación:

Los niveles de potencial de óxido reducción en el punto 1 están en el rango de 600-800mV y en el punto 2 de 500-600mV se puede notar estos rangos porque existe la presencia de un agente oxidante como es el cloro que permita disminuir los niveles de microorganismos existentes en el agua en el punto uno ya que este tanque posee una máquina cloradora que trabaja constantemente.

### Análisis estadístico de DO

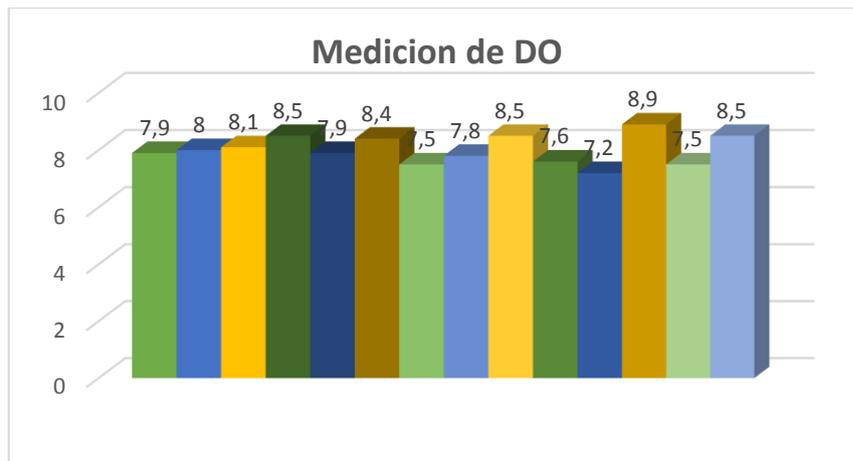
#### ❖ Punto 1



**Figura 25-3** Resultados en el punto 1 de la medición de DO

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

#### ❖ Punto 2



**Figura 26-3** Resultados en el punto 2 de la medición de DO

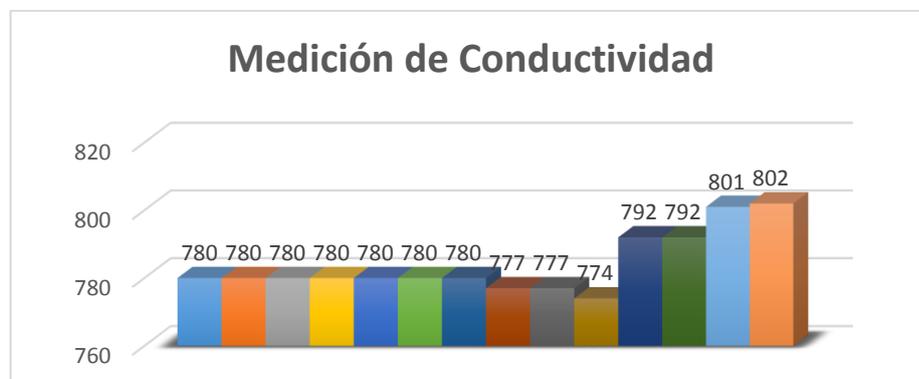
Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Interpretación:**

Los niveles de oxígeno disuelto en el punto 1 están en el rango de 6-8 mg/l y en el punto 2 de 7-9 mg/l, es decir que los niveles se encuentran dentro de los rangos aceptables ya que niveles bajos de DO muestran material orgánico en descomposición. Dando como resultado que éste parámetro determina un agua apta para el consumo humano.

**Análisis estadístico de EC**

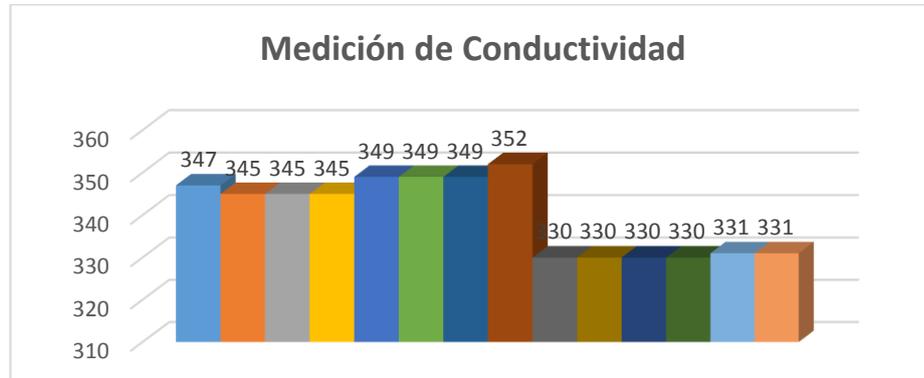
❖ **Punto 1**



**Figura 27-3** Resultados en el punto 1 de la medición de EC

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

❖ **Punto 2**



**Figura 28-3** Resultados en el punto 2 de la medición de EC

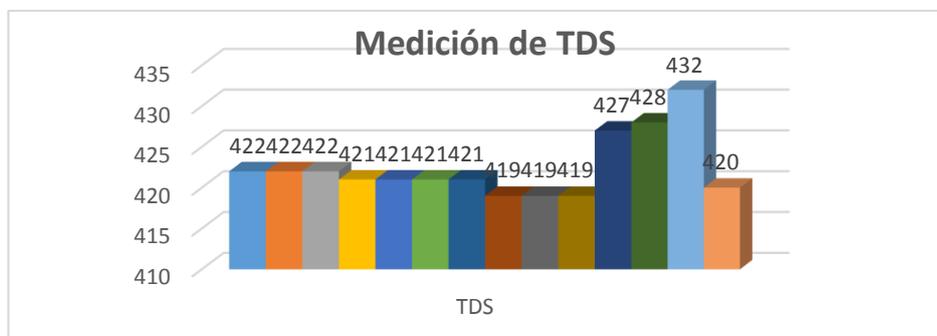
Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Interpretación:**

El sensor que lee este parámetro proporciona dos valores extras como es salinidad y TDS, puesto que la conductividad se relaciona con estos dos parámetros, tanto en el punto 1 como en el punto 2 el nivel de conductividad se encuentra dentro del rango establecido es decir entre 50-1500 uS/cm y es la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica

**Análisis estadístico de TDS**

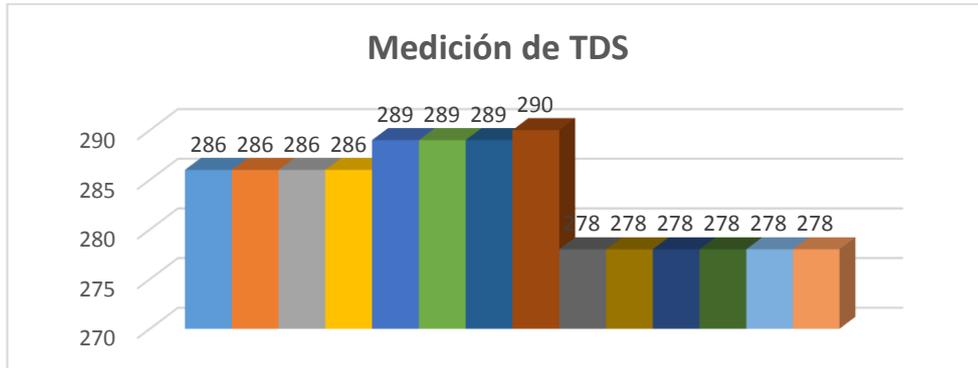
❖ **Punto 1**



**Figura 29-3** Resultados en el punto 1 de la medición de TDS

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

❖ **Punto 2**



**Figura 30-3** Resultados en el punto 2 de la medición de TDS

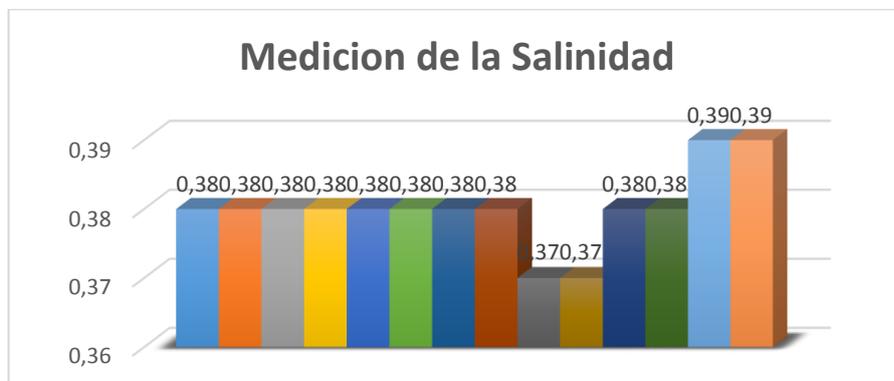
Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Interpretación:**

El rango de TDS para el punto 1 es de 420-432 mg/l y del punto 2 es de 286-290 mg/l estos, valores se han mostrado muy similares a los que se han hecho dentro de un laboratorio y además están dentro de los valores aceptables para agua de consumo humano ya que de no ser el caso el agua sería de mal agrado para el paladar.

**Análisis estadístico de salinidad**

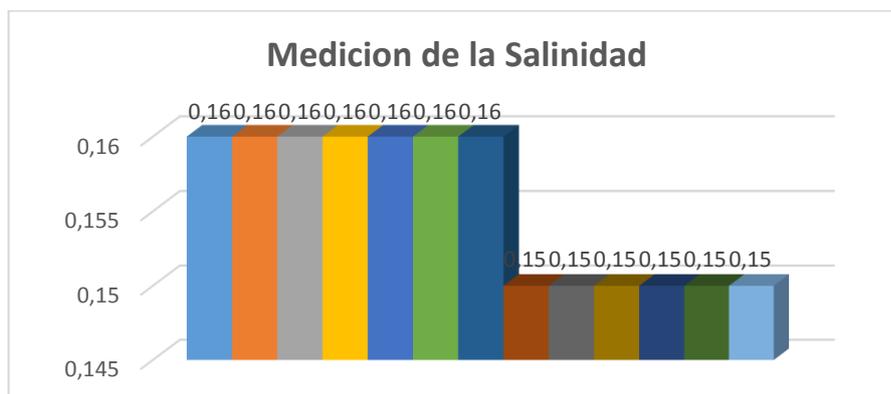
❖ **Punto 1**



**Figura 31-3** Resultados en el punto 1 de la medición de salinidad

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

❖ **Punto 2**



**Figura 32-3** Resultados en el punto 2 de la medición de salinidad

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Interpretación:**

El rango de salinidad tanto para el punto 1 como el punto 2 se encuentra dentro del rango porque los valores no pasan de 0,5 ups y se encuentran dentro de los datos aceptables para agua de consumo humano, es decir el agua no contiene un alto contenido de sales.

**3.3.2. Valores promedios de los datos obtenidos y criterios de calidad.**

**Tabla 2-3** Valores Promedios de los datos

| PARAMETROS    | Unidades | VALORES PROMEDIOS OBTENIDOS |         |             | TULSMA    |
|---------------|----------|-----------------------------|---------|-------------|-----------|
|               |          | PUNTO 1                     | PUNTO 2 | PUNTO 1 Y 2 |           |
| PH            | Ph       | 7,49                        | 7,23    | 7,36        | (6-9)     |
| ORP           | mV       | 774,71                      | 569,42  | 672,065     | >650      |
| DO            | mg/l     | 8,09                        | 8,02    | 8,055       | (6-12)    |
| TDS           | mg/l     | 422,42                      | 283,5   | 352,96      | <1000     |
| CONDUCTIVIDAD | µs/cm    | 783,93                      | 340,21  | 562,07      | (50-1500) |
| SALINIDAD     | Ups      | 0,38                        | 0,14    | 0,26        | 0,5       |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

### 3.4. Porcentaje de error del prototipo

Para el cálculo del porcentaje de error que presenta el prototipo funcional inalámbrico para monitoreo de calidad de agua, se tomó en cuenta un valor teórico que en este caso es el obtenido por el laboratorio de la EP. EMAPAR en un análisis realizado en el 2015.

El valor experimental se lo tomo como el valor promedio obtenidos entre los puntos 1 y 2 haciendo referencia solo a los parámetros que contiene el estudio de agua realizado (PH, ORP, DO, TDS).

#### Porcentaje de Error

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor Experimental}}{\text{Valor Teórico}} \right| * 100$$

Tabla 3-3 Cálculo del porcentaje de error

| PARAMETROS | Unidades | VALOR TEORICO | VALOR EXPERIMENTAL | Error  | % Error |
|------------|----------|---------------|--------------------|--------|---------|
| PH         | Ph       | 7,46          | 7,36               | 0,0134 | 1,34    |
| ORP        | Mv       | 700           | 672,065            | 0,0399 | 3,99    |
| DO         | mg/l     | 8.5           | 8,055              | 0,0524 | 5,24    |
| TDS        | mg/l     | 330           | 352,96             | 0,0695 | 6,95    |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

#### Análisis Final

Tomando en cuenta los valores de potencial de hidrógeno, potencial de óxido reducción, oxígeno disuelto y total de sólidos disueltos, en un análisis común de calidad de agua y los valores de los mismos parámetros pero medidos con la red de sensores inalámbrica para determinar calidad de agua, se puede comprobar que el sistema funciona correctamente porque los datos obtenidos son muy parecidos o casi iguales a los que se han conseguido dentro de un laboratorio presentando un porcentaje bajo de error, quedando validado el sistema para que realice esta actividad de manera segura y pueda implementarse en los GAD'S y empresas encargadas de la distribución del líquido vital.

### 3.5. Análisis económico

Se realiza un estudio económico para determinar el beneficio financiero que se tendrá con la implementación del Prototipo Inalámbrico.

En la actualidad se debe acudir directamente a los tanques distribuidores de agua para recolectar una muestra, llevarla hasta el laboratorio y realizar el respectivo estudio de calidad de agua, presentando un retardo en la entrega de resultados de 1 día y con costos adicionales de personal encargado y el transporte del mismo, en cambio el prototipo inalámbrico propuesto nos ahorraría este costo, la inversión que se realiza para un estudio común se muestra en la tabla 4-3.

#### **Inversión en un análisis común de agua**

**Tabla 4-3** Inversión en un análisis común de agua

| <b>Variables</b>                  | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario (\$)</b> | <b>Subtotal (\$)</b> |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|
| <b>Análisis en el laboratorio</b> | 1               | 410,00                      | 410,00               |
| <b>Varios</b>                     | 1               | 20,00                       | 20,00                |
| <b>TOTAL</b>                      |                 |                             | <b>430,00</b>        |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

#### **Inversión del Prototipo**

**Tabla 5-3** Inversión del prototipo

| <b>Variables</b>                 | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario (\$)</b> | <b>Subtotal (\$)</b> |
|----------------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|
| <b>Módulos Xbee</b>              | 2               | 39,00                       | 78,00                |
| <b>Kit completo de monitoreo</b> | 1               | 829,78                      | 829,78               |
| <b>Regulador LM2596</b>          | 4               | 8,00                        | 32,00                |
| <b>Placa de fibra de vidrio</b>  | 1               | 3,00                        | 3,00                 |
| <b>Espadines</b>                 | 6               | 0,30                        | 1,80                 |
| <b>Borneras</b>                  | 2               | 0,20                        | 0,40                 |
| <b>Zócalos Xbee</b>              | 4               | 2,075                       | 8,30                 |
| <b>Fuentes</b>                   | 2               | 19                          | 38                   |
| <b>Placas Arduino</b>            | 2               | 39                          | 78                   |
| <b>Varios</b>                    |                 | 50                          | 50                   |
| <b>TOTAL</b>                     |                 |                             | <b>1119,28</b>       |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

**Interpretación:**

Con el Prototipo Inalámbrico realiza un análisis en tiempo real el día y a la hora que las personas responsables requieran, sin embargo para la demostración de este estudio económico se decidió tomar un valor de un análisis de agua por mes como lo establece las normas INEN 1108.

**Tabla 6-3** Análisis comparativo de inversiones

|   | <b>Cantidad de análisis al año</b> | <b>Valor unitario (\$)</b> | <b>Total (\$)</b> |
|---|------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| <b>Inversión en un análisis común de agua</b> | 12                                 | 430,00                     | 5160              |
| <b>Inversión del prototipo</b>                | 12                                 | 93,27                      | 1119,28           |
| <b>Ahorro</b>                                 |                                    | 336,73                     | 4040,76           |

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

En la tabla 6-3 se puede observar que la implementación del prototipo brinda un beneficio económico mensual de \$336,73 y al año un ahorro de \$4040,76.

### 3.6. Descripción de la propuesta

En este apartado se describe detalladamente cada una de las interfaces que tiene la aplicación de escritorio desarrollada en Labview para el manejo de los datos obtenidos por medio de la red de sensores inalámbrica para el control de la calidad de agua que se maneja, se basa en el procesamiento de datos que el nodo coordinador recibe directamente del nodo sensorial para brindar datos en tiempo real del agua que consumen los habitantes de la ciudad de Riobamba. El software consta de dos pantallas principales:

#### ❖ Ingreso al Sistema de Monitoreo



**Figura 33-3** Portada de ingreso a la aplicación

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

Esta pantalla contiene dos botones principales de acceso al sistema y se muestra el título de la aplicación.

- El botón “INGRESAR” permite acceder a la interfaz de monitoreo.
- El botón “SALIR” permite dejar de usar la aplicación y pausar la visualización de datos hasta que se abra nuevamente el software.

## ❖ Interfaz de Monitoreo

Al presionar el botón INGRESAR se tiene acceso a la pantalla de monitoreo de los parámetros que establecen calidad de agua, la cual contiene 4 secciones:

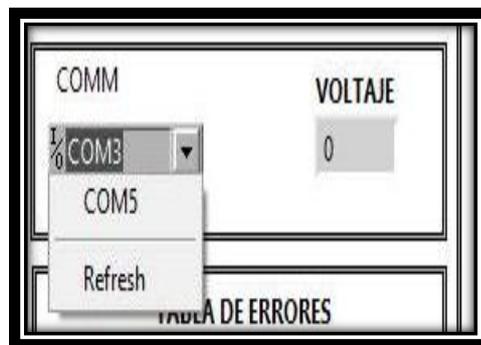


**Figura 34-3** Interfaz de monitoreo de calidad de agua

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## Sección 1

Esta sección debe ser manipulada como primera instancia ya que se debe elegir el puerto de la comunicación serial que se va a usar, dando una opción de “Refresh” para elegir el adecuado; también se puede observar el voltaje en el que está trabajando el nodo coordinador brindándonos información del nivel en el que la batería se encuentra para de esta manera poder reemplazarla después de un tiempo de uso.



**Figura 35-3** Información del puerto y voltaje

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## Sección 2

En esta sección se guardan los datos obtenidos de pH, ORP, DO, EC, TDS y salinidad; cuando se presente una alarma en cualquiera de los parámetros se registra en la “Tabla de Errores” y se guarda la información hasta que la persona que va a manipular la aplicación saque los reportes en Excel.

En la tabla de datos se registran un promedio de los datos obtenidos durante una hora; es decir cada hora en punto registra un dato y se obtienen reportes diarios de 24 lecturas.

| PH   | ORP   | DO   | EC    | TDS   | SAL  |
|------|-------|------|-------|-------|------|
| 5,08 | 500,0 | 5,41 | 331,0 | 178,0 | 0,15 |
| 5,08 | 500,0 | 5,14 | 331,0 | 178,0 | 0,15 |
| 5,26 | 500,0 | 5,14 | 331,0 | 178,0 | 0,15 |
| 5,25 | 500,0 | 5,35 | 331,0 | 178,0 | 0,15 |

| PH   | ORP   | DO   | EC    | TDS   | SAL  |
|------|-------|------|-------|-------|------|
| 6,77 | 461,0 | 5,56 | 331,0 | 178,0 | 0,15 |
| 6,77 | 461,0 | 5,56 | 331,0 | 178,0 | 0,15 |
| 6,77 | 461,0 | 5,56 | 331,0 | 178,0 | 0,15 |
| 6,77 | 461,0 | 5,56 | 331,0 | 178,0 | 0,15 |

**Figura 36-3** Tablas de obtención de datos

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## Sección 3

En esta sección se puede sacar reportes de la tabla de la tabla de datos, al momento de presentarse una alteración automáticamente el software emite un reporte notificando qué parámetro se encuentra fuera de los límites permisibles. En la figura 37-3 se puede observar que existe un apartado para ingresar el nombre del técnico, en este caso el reporte es emitido con ese nombre como técnico responsable.



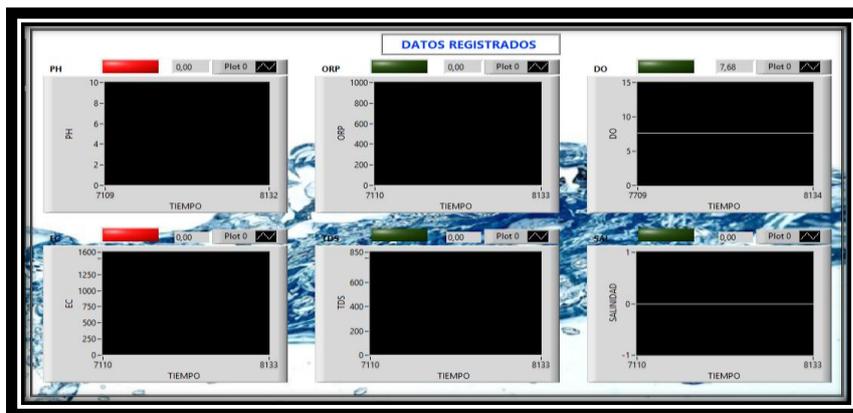
**Figura 37-3** Reportes de errores y diarios

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

Los reportes diarios son impresos a las 0:01 de todos los días y pueden ser visualizados a partir de esa hora, en este caso en horas de oficina a las 8 de la mañana pueden ver el registro de 24 datos que ha guardado el sistema durante el día.

#### Sección 4

Se puede observar el valor que los sensores están midiendo de los parámetros, además que nos muestra un botón que se torna color rojo en caso de existir una alarma, es decir que un valor este fuera de los rangos establecidos, mientras que se mantiene en color verde si el parámetro se encuentra en un nivel normal.



**Figura 38-3** Figuras de datos registrados

Fuente: YUMI, Sandra, 2016

## CONCLUSIONES

1. En este trabajo se diseñó e implementó un prototipo Inalámbrico IPV6 para comprobar la calidad de agua en tiempo real, facultando a la EP-EMAPAR la oportunidad de estar dentro del auge tecnológico que ofrece la plataforma IoT relacionada a las Smart Cities

2.- Los beneficios de usar 6LoWPAN van de la mano con las ventajas que representa el enfoque de Internet de las cosas, ya que simplifica diversos protocolos propietarios con el protocolo de Internet (IP) y así conduce a la integración de los dispositivos embebidos.

3.- Existen diversas opciones inalámbricas disponibles para los diseñadores, sin embargo para este proyecto se ha considerado relevante utilizar 6LoWPAN que opera en la banda de 2.4 GHz de acuerdo a parámetros importantes como estándar, velocidad de transmisión, consumo de energía y memoria.

4.- La EP-EMAPAR con respecto a los parámetros de calidad de agua se basa en los límites máximos permisibles establecidos en el Libro VI Anexo 1 del Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA) y en las Normas INEN 1108 para aguas de consumo humano y uso doméstico.

5. En base a los resultados obtenidos en las pruebas de campo, se concluye que la ubicación del nodo sensorial y el nodo coordinador debe tener una línea de vista directa sin obstrucciones.

6.- Se realizó la implementación del prototipo inalámbrico IPV6, para comprobar la calidad de agua en EP-EMAPAR, y se puede comprobar que el sistema funciona correctamente ya que los datos obtenidos son muy parecidos o casi iguales a los que se han conseguido dentro de un laboratorio después de un análisis tradicional, presentando un porcentaje bajo de error, quedando validado el sistema para que realice esta actividad de manera segura.

7.- El prototipo proporciona un constante monitoreo de la calidad de agua, mejorando el tiempo de respuesta en caso de existir parámetros fuera de sus valores permitidos, un ahorro económico de 336,73 por cada análisis mensual y menor índice de incertidumbre en los habitantes de la ciudad de Riobamba respecto a una posible contaminación del agua.

## RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda que este prototipo sea utilizado como un sistema de constante monitoreo para comprobar la calidad del agua potable.
- ❖ Para obtener las lecturas de pH, DO, ORP, CE, TDS, salinidad con bajo índice de error es necesario realizar la calibración de cada uno de los sensores.
- ❖ Utilizar las últimas actualizaciones de normas INEN sobre calidad de agua para consumo humano y comparar con los datos obtenidos a través de la red de sensores inalámbrica.
- ❖ Usar un adaptador Xbee Explorer USB con el fin de optimizar recursos económicos, por la facilidad que representa en la programación de los módulos Xbee y con el protocolo IEEE 802.15.4.
- ❖ Tener un conocimiento claro del funcionamiento del simulador NS-2 y del archivo de trazas .tr en donde la primera es la base de la elección del módulo Xbee y la segunda es en donde se guardan los errores de la transmisión de datos dentro de una Red de Sensores Inalámbrica.
- ❖ Realizar un mantenimiento preventivo de los sensores cada seis meses para mejor funcionamiento del prototipo.

## GLOSARIO

|                |  |
|----------------|--|
| <b>DSSS</b>    | Direct sequence spread spectrum (Espectro ensanchado de secuencia directa)   |
| <b>FHSS</b>    | Frequency hopping spread spectrum (Saltos de frecuencia de espectro ensanchado)  |
| <b>HID</b>     | Human Interface Device (Dispositivos para la Interfaz Humana)  |
| <b>IDE</b>     | Integrated Development Environment (Entorno de desarrollo integrado)   |
| <b>IEEE</b>    | Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica)                    |
| <b>INEC</b>    | Instituto Nacional de Estadísticas y Censos  |
| <b>ISO</b>     | International Standard Organization (Organización Internacional de Normalización)                                      |
| <b>LabVIEW</b> | Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench (Laboratorio de Instrumentación Virtual Ingeniería Workbench) |
| <b>MAC</b>     | Media Access Control (Control de acceso al medio)  |
| <b>NS2</b>     | Network Simulator 2 (Simulador de Red)   |
| <b>OD</b>      | Oxígeno disuelto   |
| <b>OMS</b>     | Organización mundial de la salud   |
| <b>ORP</b>     | Potencial de óxido de reducción  |
| <b>OSI</b>     | Open System Interconnection (Interconexión de Sistema Abierto)   |
| <b>PH</b>      | Potencial de hidrógeno   |
| <b>Rx</b>      | Receiving Data (Recepción de Datos)  |
| <b>SENAGUA</b> | Secretaría Nacional de Agua  |
| <b>SRM</b>     | Supplier Relationship Management (Gestión de las relaciones con los proveedores)                                       |
| <b>TDS</b>     | Total dissolved solids (Total de sólidos disueltos)  |
| <b>TULSMA</b>  | Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente  |
| <b>Tx</b>      | Data transmission (Transmisión de datos)   |
| <b>VCC</b>     | Voltaje de Corriente Continua  |
| <b>WIFI</b>    | Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica)  |
| <b>WLAN</b>    | Wireless Local Area Network (Red Inalámbrica de área local)  |
| <b>WPAN</b>    | Wireless Personal Area Network (Red Inalámbrica de Área Personal)  |
| <b>WSN</b>     | Wireless sensor network (Red de Sensor Inalámbrica)  |
| <b>X-CTU</b>   | Software Configurator de Módulos Xbee  |

## BIBLIOGRAFÍA

- ❖ **ARDUINO.** [En línea]. 2013  
[Consulta: 07 Marzo 2016]  
Disponible en: [https://www.arduino.cc/es/pm\\_wiki.php?](https://www.arduino.cc/es/pm_wiki.php?)
  
- ❖ **CREUS, A.** *Instrumentación Industrial*. 8va ed. Marcombo, 2012.  
[Consulta: 17 Abril 2016]
  
- ❖ **GARCIA, M.,** “*Guía para la Implementación de Sensores Inalámbricos*”. (TESIS).  
Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Electrónica, Bucaramanga.  
2010. p. 19.
  
- ❖ **GAVIDIA, J.** [En línea]. “*Análisis del desempeño de una red Ad-Hoc inalámbrica móvil MANET, empleando el software NS 2.32 bajo el estándar IEEE 802.15*”. *Maskay Electrónica*. [En línea].2002  
[Consulta: 21 Marzo 2016]  
Disponible en: [http://maskay.espe.edu.ec/vol1\\_1.pdf](http://maskay.espe.edu.ec/vol1_1.pdf)
  
- ❖ **LENNTECH FACTORY.** *Water Treatment*, España: [En línea].2014  
[Consulta: 18 Abril 2016]  
Disponible en: <http://www.lenntech.es/>
  
- ❖ **MAYNÉ, J.** *IEEE 802.15.4 y Zigbee*. Alemania: [En línea].2012  
[Consulta: 25 Mayo 2016]  
Disponible en: [http://www.bairesrobotics.com.ar/data/ieee\\_zigbee\\_silica.pdf](http://www.bairesrobotics.com.ar/data/ieee_zigbee_silica.pdf).
  
- ❖ **OYARCE, A.** *Guía del Usuario XBee Series 1*. Santiago de Chile: Eduard Martín. [En línea].2010.  
[Consulta: 11 Junio 2016]

Disponible en: [http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia\\_Usuario.pdf](http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf)

- ❖ **PAREDES, I.** *Análisis comparativo de las placas Arduino (oficiales y compatibles)*. Italia: [En línea].2014.

[Consulta: 23 Abril 2016]

Disponible en: <http://comohacer.eu/analisis-comparativo-placas-arduino-oficiales-compatibles/>.

- ❖ **SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA.** *Diagnostico de la Informacion Estadistica del Agua en Ecuador*, Ecuador: SENAGUA. [En línea].2010.

[Consulta: 06 Abril 2016]

Disponible en:

<http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf>

- ❖ **SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA.** *Monitoreo de calidad de agua*, Ecuador: SENAGUA, [En línea]. 2013.

[Consulta: 03 Abril 2016]

Disponible en: <http://www.agua.gob.ec/senagua-concluyo-monitoreo-de-calidad-de-agua-en-cinco-rios-de-el-oro-2/>.

- ❖ **SERNA, J.** *Redes de Sensores Inalámbricas*, España: Jesus Serna. [En línea]. 2007

Disponible en:

<http://www.uv.es/~montanan/ampliacion/trabajos/Redes%20de%20Sensores.pdf>.

[Consulta: 18 Abril 2016]

- ❖ **TIRADO, M.,** *Monitoreo de la calidad de agua de la microcuenca del rio Quero. (TESIS)*. Universidad Tecnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Escuela de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, Ambato-Ecuador. 2015. pp. 12-28.

[Consulta: 13 Junio 2016]

# ANEXOS

## Anexo A

### Datasheet módulo versión Xbee Pro 2,4 GHz

## 1. XBee®/XBee-PRO® RF Modules

The XBee and XBee-PRO RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.



### Key Features

| Long Range Data Integrity  | Low Power  |
|--|--|
| <b>XBee</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Indoor/Urban: up to 100' (30 m)</li><li>Outdoor line-of-sight: up to 300' (90 m)</li><li>Transmit Power: 1 mW (0 dBm)</li><li>Receiver Sensitivity: -92 dBm</li></ul>  | <b>XBee</b> <ul style="list-style-type: none"><li>TX Peak Current: 45 mA (@3.3 V)</li><li>RX Current: 50 mA (@3.3 V)</li><li>Power-down Current: &lt; 10 µA</li></ul>  |
| <b>XBee-PRO</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 300' (90 m) for International variant</li><li>Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1,600 m), 2,500' (750 m) for International variant</li><li>Transmit Power: 53mW (18dBm), 10mW (10dBm) for International variant</li><li>Receiver Sensitivity: -100 dBm</li></ul>   | <b>XBee-PRO</b> <ul style="list-style-type: none"><li>TX Peak Current: 250mA (150mA for International variant)</li><li>TX Peak Current (RFSMA module only): 340mA (180mA for International variant)</li><li>RX Current: 55 mA (@3.3 V)</li><li>Power-down Current: &lt; 10 µA</li></ul>                                  |
| RF Data Rate: 250,000 bps  | <b>ADC and I/O line support</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Analog-to-digital conversion, Digital I/O</li><li>I/O Line Passthrough</li></ul>   |
| <b>Advanced Networking &amp; Security</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Retries and Acknowledgements</li><li>DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)</li><li>Each direct sequence channel has over 65,000 unique network addresses available</li><li>Source/Destination Addressing</li><li>Unicast &amp; Broadcast Communications</li><li>Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported</li></ul> | <b>Easy-to-Use</b> <ul style="list-style-type: none"><li>No configuration necessary for out-of-box RF communications</li><li>Free X-CTU Software (Testing and configuration software)</li><li>AT and API Command Modes for configuring module parameters</li><li>Edenave command set</li><li>Small form factor</li></ul> |

### Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p64] for FCC Requirements. Systems that contain XBee®/XBee-PRO® RF Modules Inherit Digi Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) 2.4 GHz frequency band

Manufactured under ISO 9001:2000 registered standards

XBee®/XBee-PRO® RF Modules are optimized for use in the United States, Canada, Australia, Japan, and Europe. Contact Digi for complete list of government agency approvals.



© 2009 Digi International Inc. 4

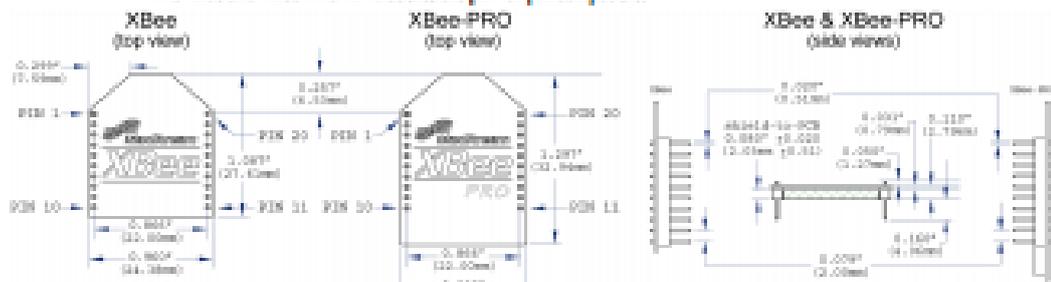
## Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee®/XBee-PRO® RF Modules

| Specification                                    | XBee   | XBee-PRO   |
|--|--|--|
| <b>Performance</b>                               |  |  |
| Indoor/Urban Range                               | Up to 100 ft (30 m)  | Up to 300 ft (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant   |
| Outdoor RF line-of-sight Range                   | Up to 300 ft (90 m)  | Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) international variant   |
| Transmit Power Output (software selectable)      | 1mW (0 dBm)  | 42mW (16dBm)*<br>10mW (10 dBm) for international variant   |
| RF Data Rate                                     | 250,000 bps  | 250,000 bps  |
| Serial Interface Data Rate (software selectable) | 1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported) | 1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)   |
| Receiver Sensitivity                             | -82 dBm (1% packet error rate)                               | -80 dBm (1% packet error rate)   |
| <b>Power Requirements</b>                        |  |  |
| Supply Voltage                                   | 2.8 – 3.4 V  | 2.8 – 3.4 V  |
| Transmit Current (typical)                       | 45mA (@ 3.3 V)   | 250mA (@ 3.3 V) (150mA for international variant)<br>RPSMA module only: 340mA (@3.3 V) (180mA for international variant) |
| Idle / Receive Current (typical)                 | 50mA (@ 3.3 V)   | 50mA (@ 3.3 V)   |
| Power-down Current                               | ~ 10 µA  | ~ 10 µA  |
| <b>General</b>                                   |  |  |
| Operating Frequency                              | ISM 2.4 GHz  | ISM 2.4 GHz  |
| Dimensions                                       | 0.980" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)                          | 0.980" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)  |
| Operating Temperature                            | -40 to 85° C (Industrial)                                    | -40 to 85° C (Industrial)  |
| Antenna Options                                  | Integrated Whip, Chip or UFL Connector, RPSMA Connector      | Integrated Whip, Chip or UFL Connector, RPSMA Connector  |
| <b>Networking &amp; Security</b>                 |  |  |
| Supported Network Topologies                     | Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer           |  |
| Number of Channels (software selectable)         | 16 Direct Sequence Channels                                  | 12 Direct Sequence Channels  |
| Addressing Options                               | PAN ID, Channel and Address                                  | PAN ID, Channel and Address  |
| <b>Agency Approvals</b>                          |  |  |
| United States (FCC Part 15.247)                  | OUR-XBEE   | OUR-XBEEPRO  |
| Industry Canada (IC)                             | 4214A.XBEE   | 4214A.XBEEPRO  |
| Europe (CE)                                      | ETSI   | ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*  |
| Japan  | R02FHH0721E214   | R02FHH0215111 (Max. 10 dBm transmit power output)*   |
| Australia  | C-Tel  | C-Tel  |

\* See Appendix A for region-specific certification requirements.

The XBee and XBee-PRO RF Modules are pin-for-pin compatible.



## Anexo B

### Código de simulación en Ns\_2

#### ❖ Series 2

```
#####
# Define opciones
#####
set val(chan) Channel/WirelessChannel ;# Tipo de canal
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ;# Modelo de radio-propagación
set val(netif) Phy/WirelessPhy/802_15_4
set val(mac) Mac/802_15_4
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;# Tipo de interfaz queue
set val(ll) LL ;# Tipo de capa de enlace
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ;# Modelo de antena
set val(ifqlen) 150 ;# Máximo de paquetes en ifq
set val(nn) 11 ;# Número de nodos
set val(rp) AODV ;# routing protocol
set val(x) 200 ;# Área de cobertura
set val(y) 200
set val(nam) tree.nam
set val(traffic) cbr ;# Tráfico UDP/CBR
proc getCmdArgv {argc argv} {
    global val
    for {set i 0} {$i < $argc} {incr i} {
        set arg [lindex $argv $i]
        if {[string range $arg 0 0] != "-"} continue
        set name [string range $arg 1 end]
        set val($name) [lindex $argv [expr $i+1]]
    }
}
getCmdArgv $argc $argv
set appTime1 8.1 ;# in seconds
set appTime2 8.3 ;# in seconds
set appTime3 8.5 ;# in seconds
set appTime4 8.7 ;# in seconds
set appTime5 8.9 ;# in seconds
-- INSERT --
```

```
File Edit View Search Terminal Help
Snode (4) set X 29
Snode (4) set Y 24
Snode (4) set Z 0
Snode (5) set X 40
Snode (5) set Y 23
Snode (5) set Z 0
Snode (6) set X 9
Snode (6) set Y 14
Snode (6) set Z 0
Snode (7) set X 16.5
Snode (7) set Y 13
Snode (7) set Z 0
Snode (8) set X 24
Snode (8) set Y 13
Snode (8) set Z 0
Snode (9) set X 34
Snode (9) set Y 13.5
Snode (9) set Z 0
Snode (10) set X 44
Snode (10) set Y 13
Snode (10) set Z 0
sns at 0.0 "snode (0) NodeLabel Coordinador"
<Sb>
sns at 0.0 "snode (0) sscs startPANCoord 1"
;# startPANCoord <txBeacon> <80>=>
sns at 0.5 "snode (1) sscs startDevice 1 1 1"
=> <txBeacon> <80>=> <Sb>
;# startDevice <isFFD>=> <assoPermit
sns at 1.5 "snode (2) sscs startDevice 1 1 1"
sns at 2.5 "snode (3) sscs startDevice 1 1 1"
sns at 3.5 "snode (4) sscs startDevice 1 1 1"
sns at 4.5 "snode (5) sscs startDevice 1 1 1"
sns at 5.5 "snode (6) sscs startDevice 0"
sns at 5.8 "snode (7) sscs startDevice 0"
sns at 6.5 "snode (8) sscs startDevice 0"
sns at 6.8 "snode (9) sscs startDevice 0"
sns at 7.0 "snode (10) sscs startDevice 0"
sns at 6.0 "snode (3) sscs stopBeacon"
sns at 8.0 "snode (3) sscs startBeacon"
-- INSERT --
```

```
File Edit View Search Terminal Help
set stopTime 100 ;# in seconds
# Inicio de variables globales
set ns [new Simulator]
set tracefd [open trace.tr w]
sns trace-all $tracefd
if { "$val(nam)" == "tree.nam" } {
    set namtrace [open $val(nam) w]
    sns namtrace-all wireless $namtrace $val(x) $val(y)
    sns use-namtrace
}
sns puts-nam-traceall {# nam$wpan #} ;# inform nam that this is a trace file for wpan (sp
cial handling needed)
Mac/802_15_4 wpanCmd verbose on
Mac/802_15_4 wpanNam status on ;# default = off (should be turned on before other
wpanNam commands can work)
##definir parametro de Recepcion ##Sensibilidad Disp y Potencia Recibida
Phy/WirelessPhy set CStresh 3.16e-10
Phy/WirelessPhy set RXThresh 1.01e-09
##definir la frecuencia de trabajo
Phy/WirelessPhy set freq 2.4e+09
##Parametro de colisiones
Phy/WirelessPhy set CPTresh 10
# Configuración de objeto topography
set topo [new Topography]
stopo load_flatgrid $val(x) $val(y)
# Creación del God
set god [create-god $val(nn)]
set chan_l [new $val(chan)]
# Configuración de características del nodo
-- INSERT --
```

```
File Edit View Search Terminal Help
sns at 9.0 "snode (3) sscs startBeacon 4 4" ;# change beacon order and superframe order
sns at 10.0 "snode (4) sscs stopBeacon"
Mac/802_15_4 wpanNam PlaybackRate 3ms
sns at $appTime1 "puts \"Transmitting data ...\\n\""
# Configuración de flujo de tráfico entre nodos
proc cbrTraffic {src dst interval starttime} {
    global ns _node
    set udp ($src) [new Agent/UDP]
    eval $ns attach-agent $node($src) $udp ($src)
    set null ($dst) [new Agent/Null]
    eval $ns attach-agent $node($dst) $null ($dst)
    set cbr ($src) [new Application/Traffic/CBR]
    eval $cbr ($src) set packetSize 150
    eval $cbr ($src) set interval $interval
    eval $cbr ($src) set random 0
    eval $cbr ($src) set maxPkts 10000
    eval $cbr ($src) attach-agent $udp ($src)
    eval $ns connect $udp ($src) $null ($dst)
    $ns at $starttime "cbr ($src) start"
}
if { "$val(traffic)" == "cbr" } {
    puts "Traffic: $val(traffic)"
    Mac/802_15_4 wpanCmd ack4data on
    puts [format "Acknowledgement for data: %s" [Mac/802_15_4 wpanCmd ack4data]]
    sns at $appTime1 "Mac/802_15_4 wpanNam PlaybackRate 0.5ms"
    sns at [expr $appTime1 + 0.5] "Mac/802_15_4 wpanNam PlaybackRate 1.5ms"
    $val(traffic) traffic 6 0 0.2 $appTime1
    $val(traffic) traffic 7 0 0.2 $appTime2
    $val(traffic) traffic 8 0 0.2 $appTime3
    $val(traffic) traffic 9 0 0.2 $appTime4
    $val(traffic) traffic 10 0 0.2 $appTime5
    sns at $appTime1 "snode (6) add-mark m1 blue circle"
    sns at $appTime1 "snode (6) add-mark m2 blue circle"
-- INSERT --
```

```
File Edit View Search Terminal Help
# Configuración de características del nodo
sns_node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqlen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace ON \
    -movementTrace OFF \
    -energyModel "EnergyModel" \
    -initialEnergy 324000 \
    -txPower 0.2 \
    -channel $chan_l
# Configuración de nuevo formato de trazas
sns set WirelessNewTrace ON
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    set node ($i) [sns node]
    Snode ($i) random-motion 0
}
# Ubicación de los nodos
Snode (0) set X 30
Snode (0) set Y 40
Snode (0) set Z 0
Snode (1) set X 22
Snode (1) set Y 35
Snode (1) set Z 0
Snode (2) set X 35
Snode (2) set Y 32
Snode (2) set Z 0
Snode (3) set X 13.5
Snode (3) set Y 24
Snode (3) set Z 0
-- INSERT --
```

```
File Edit View Search Terminal Help
sns at $appTime1 "sns_trace-annotate \"(at $appTime1) $val(traffic) traffic from node 6 to node
0\""
sns at $appTime2 "snode (7) add-mark m3 yellow circle"
sns at $appTime2 "snode (0) add-mark m4 yellow circle"
sns at $appTime2 "sns_trace-annotate \"(at $appTime2) $val(traffic) traffic from node 7 to node
0\""
sns at $appTime3 "snode (8) add-mark m5 brown circle"
sns at $appTime3 "snode (0) add-mark m6 brown circle"
sns at $appTime3 "sns_trace-annotate \"(at $appTime3) $val(traffic) traffic from node 8 to node
0\""
sns at $appTime4 "snode (9) add-mark m7 red circle"
sns at $appTime4 "snode (0) add-mark m8 red circle"
sns at $appTime4 "sns_trace-annotate \"(at $appTime4) $val(traffic) traffic from node 1 to node
0\""
sns at $appTime5 "snode (10) add-mark m9 green4 circle"
sns at $appTime5 "snode (0) add-mark m10 green4 circle"
sns at $appTime5 "sns_trace-annotate \"(at $appTime5) $val(traffic) traffic from node 10 to nod
e 0\""
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p AODV -c tomato
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p ARP -c green
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p MAC -c navy
if { "$val(traffic)" == "cbr" } {
    set pktType cbr
} else {
    set pktType exp
}
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p spktType -s 6 -d 0 -c blue
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p spktType -s 7 -d 0 -c green4
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p spktType -s 8 -d 0 -c red
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p spktType -s 9 -d 0 -c navy
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p spktType -s 10 -d 0 -c tomato
# Definición del tamaño de los nodos en el nam
-- INSERT --
```

## ❖ Xbee Pro 2,4

```

#####
# Define opciones
#####
set val(chan) Channel/WirelessChannel ;# Tipo de canal
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ;# Modelo de radio-propagación
set val(netif) Phy/WirelessPhy/802_15_4
set val(mac) Mac/802_15_4
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;# Tipo de interfaz queue
set val(ll) LL ;# Tipo de capa de enlace
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ;# Modelo de antena
set val(ifqLen) 150 ;# Máximo de paquetes en ifq
set val(nn) 11 ;# Número de nodos
set val(rp) AODV ;# routing protocol
set val(x) 200 ;#Área de cobertura
set val(y) 200
set val(nam) tree.nam
set val(traffic) cbr ;# Tráfico UDP/CBR

proc getCmdArgv {argc} {
    global val
    for {set i 0} {i < $argc} {incr i} {
        set arg [lindex $argv $i]
        if {[string range $arg 0 0] != "-"} continue
        set name [string range $arg 1 end]
        set val($name) [lindex $argv [expr $i+1]]
    }
}

getCmdArgv $argc $argv
set appTime1 8.1 ;# in seconds
-- INSERT --

```

```

File Edit View Search Terminal Help
# Configuración de características del nodo
$ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqLen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace ON \
    -movementTrace OFF \
    -energyModel "energyModel" \
    -initialEnergy 324900 \
    -txPower 0.3 \
    -channel $chan

# Configuración de nuevo formato de trzas
$ns set WirelessTrace ON
for {set i 0} {i < $val(nn)} {incr i} {
    set node ($i) [$ns node]
    $node ($i) random-motion 0
}

# Ubicación de los nodos
$node (0) set X 30
$node (0) set Y 40
$node (0) set Z 0
$node (1) set X 22
$node (1) set Y 32
$node (1) set Z 0
$node (2) set X 35
$node (2) set Y 32
$node (2) set Z 0
$node (3) set X 13.5
$node (3) set Y 24
$node (3) set Z 0
$node (4) set X 24
$node (4) set Y 24
$node (4) set Z 0
$node (5) set X 40
$node (5) set Y 23
$node (5) set Z 0
$node (6) set X 0
$node (6) set Y 14
$node (6) set Z 0
$node (7) set X 16.5
$node (7) set Y 13
$node (7) set Z 0
$node (8) set X 24
$node (8) set Y 13
$node (8) set Z 0
$node (9) set X 34
$node (9) set Y 13.5
$node (9) set Z 0
$node (10) set X 44
$node (10) set Y 13
$node (10) set Z 0
$ns at 0.0 "$node (0) ModelLabel Coordinador"
$ns at 0.0 "$node (0) sscs startPANCoord 1"
-- INSERT --

```

```

File Edit View Search Terminal Help
getCmdArgv $argc $argv
set appTime1 8.1 ;# in seconds
set appTime2 8.3 ;# in seconds
set appTime3 8.5 ;# in seconds
set appTime4 8.7 ;# in seconds
set appTime5 8.9 ;# in seconds
set stopTime 100 ;# in seconds

# Inicio de variables globales
set ns_ [new Simulator]
set tracefd [open tree.tr w]
$ns trace-all $tracefd
if { "$val(nam)" == "tree.nam" } {
    set namTrace [open ./$val(nam) w]
    $ns namTrace-all-wireless-namTrace $val(x) $val(y)
    $ns use-namTrace
}

$ns puts-nam-traceall { $ namWpan } ;# inform nam that this is a trace file for wpan (specia
\ handling needed)
Mac/802_15_4 wpanCmd verbose on ;# default = off (should be turned on before other 'wpan
Nam' commands can work)

#####Parametros de recepción de señal, sensibilidad y potencia recibida
Phy/WirelessPhy set CThresh 1e-10
Phy/WirelessPhy set RXTresh 3.30e-8

Phy/WirelessPhy set freq 2.4e+09
Phy/WirelessPhy set CPhresh 10

# Configuración de objeto topography
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)

# Creación del God
set god_ [create-god $val(m)]
set chan 1 [new $val(chan)]
-- INSERT --

```

```

File Edit View Search Terminal Help
# Ubicación de los nodos
$node (0) set X 30
$node (0) set Y 40
$node (0) set Z 0
$node (1) set X 22
$node (1) set Y 32
$node (1) set Z 0
$node (2) set X 35
$node (2) set Y 32
$node (2) set Z 0
$node (3) set X 13.5
$node (3) set Y 24
$node (3) set Z 0
$node (4) set X 24
$node (4) set Y 24
$node (4) set Z 0
$node (5) set X 40
$node (5) set Y 23
$node (5) set Z 0
$node (6) set X 0
$node (6) set Y 14
$node (6) set Z 0
$node (7) set X 16.5
$node (7) set Y 13
$node (7) set Z 0
$node (8) set X 24
$node (8) set Y 13
$node (8) set Z 0
$node (9) set X 34
$node (9) set Y 13.5
$node (9) set Z 0
$node (10) set X 44
$node (10) set Y 13
$node (10) set Z 0
$ns at 0.0 "$node (0) ModelLabel Coordinador"
$ns at 0.0 "$node (0) sscs startPANCoord 1"
-- INSERT --

```

```

File Edit View Search Terminal Help
$ns at 0.5 "$node (1) sscs startDevice 1 1 1" ;# startDevice <isFD> <assoPermit>
<txBeacon> <B0> <S0>
$ns at 1.5 "$node (2) sscs startDevice 1 1 1"
$ns at 2.5 "$node (3) sscs startDevice 1 1 1"
$ns at 3.5 "$node (4) sscs startDevice 1 1 1"
$ns at 4.5 "$node (5) sscs startDevice 1 1 1"
$ns at 5.5 "$node (6) sscs startDevice 0"
$ns at 5.0 "$node (7) sscs startDevice 0"
$ns at 6.5 "$node (8) sscs startDevice 0"
$ns at 6.0 "$node (9) sscs startDevice 0"
$ns at 7.0 "$node (10) sscs startDevice 0"

$ns at 6.0 "$node (3) sscs stopBeacon"
$ns at 8.0 "$node (3) sscs startBeacon"
$ns at 9.0 "$node (5) sscs startBeacon 4" ;# change beacon order and superframe order
$ns at 10.0 "$node (4) sscs stopBeacon"
Mac/802_15_4 wpanNam PlaybackRate 3ms
$ns at $appTime1 "puts '\nTransmitting data ...'\n"
# Configuración de flujo de tráfico entre nodos
proc cbrTraffic {src dst interval starttime} {
    global ns_ node_
    set udp ($src) [new Agent/UDP]
    eval $ns_ attach-agent \node_ ($src) \udp ($src)

    set null ($dst) [new Agent/Null]
    eval $ns_ attach-agent \node_ ($dst) \null ($dst)

    set cbr ($src) [new Application/Traffic/CBR]
    eval \cbr ($src) set packetSize 150
    eval \cbr ($src) set interval $interval
    eval \cbr ($src) set random 0
    eval \cbr ($src) set maxPktSize 10000
    eval \cbr ($src) attach-agent \udp ($src)
    eval $ns_ connect \udp ($src) \null ($dst)
    $ns_ at $starttime "cbr ($src) start"
}

if { ("${val(traffic)}" == "cbr") } {
-- INSERT --

```

```

File Edit View Search Terminal Help
$ns at $appTime5 "$node (10) add-mark m9 green4 circle"
$ns at $appTime5 "$node (0) add-mark m0 green4 circle"
$ns at $appTime5 "$ns trace-annotate \"(at $appTime5) $val(traffic) traffic from node 10 to node 0,\"
..

Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p AODV -c tomato
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p ARP -c green
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p MAC -c navy
if { "$val(traffic)" == "cbr" } {
    set pktType cbr
} else {
    set pktType exp
}
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p SpkType -s 6 -d 0 -c blue
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p SpkType -s 7 -d 0 -c green4
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p SpkType -s 8 -d 0 -c red
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p SpkType -s 9 -d 0 -c navy
Mac/802_15_4 wpanNam FlowClr -p SpkType -s 10 -d 0 -c tomato

# Definición del tamaño de los nodos en el nam
for {set i 0} {i < $val(nn)} {incr i} {
    $ns_ initial_node_pos $node_ ($i) 2
}

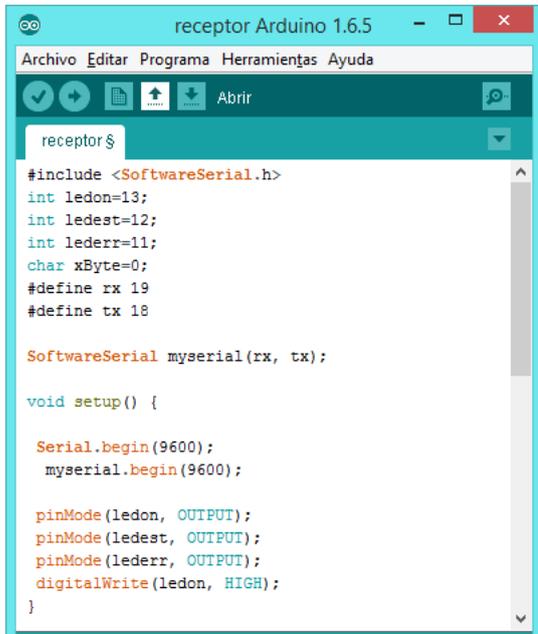
# Configuración a los nodos para el fin del proceso
for {set i 0} {i < $val(nn)} {incr i} {
    $ns_ at $stopTime "$node_ ($i) reset";
}

$ns_ at $stopTime "stop"
$ns_ at $stopTime "puts '\nMS Finalizando...'\n"
$ns_ at $stopTime "$ns_ halt"
proc stop {} {
    global ns_ tracefd appTime val env
    $ns_ flush-trace
    close tracefd
    set hsdISPLAY 0
    foreach index {array names env} {
        #puts "$index: $env($index)"
    }
}
-- INSERT --

```

## Anexo C

### Código en Arduino nodo coordinador

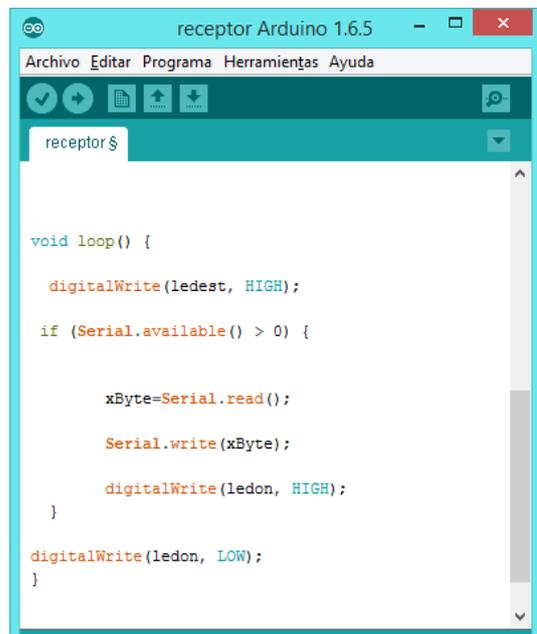


```
receptor Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
receptor $
#include <SoftwareSerial.h>
int ledon=13;
int ledest=12;
int lederr=11;
char xByte=0;
#define rx 19
#define tx 18

SoftwareSerial myserial(rx, tx);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  myserial.begin(9600);

  pinMode(ledon, OUTPUT);
  pinMode(ledest, OUTPUT);
  pinMode(lederr, OUTPUT);
  digitalWrite(ledon, HIGH);
}
}
```



```
receptor Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
receptor $
void loop() {
  digitalWrite(ledest, HIGH);

  if (Serial.available() > 0) {
    xByte=Serial.read();
    Serial.write(xByte);
    digitalWrite(ledon, HIGH);
  }
  digitalWrite(ledon, LOW);
}
```

## Anexo D

### Código en Arduino nodo sensorial

```

transmisor Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
transmisor

#include <SoftwareSerial.h>
int ledon=11;
int ledtx=12;
int lederr=13;
int S0=3;
int S1=4;
int E=2;
int i;
#define rx 9
#define tx 8

char DO_data[20]; //we make a 20 b
char computerdata[20]; //we make a 20 b
byte received_from_computer=0; //we need to know
byte received_from_sensor=0; //we need to know
byte arduino_only=0; //if you would like
byte startup=0; //used to make sure
byte string_received=0; //used to identify
float DO_float=0; //used to hold a
float sat_float=0; //used to hold a
char *DO; //char pointer u
char *sat; //char pointer u

SoftwareSerial myserial(rx, tx);

//variables PH

```

```

transmisor Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
transmisor$

//variables PH
String inputstring = "";
String sensorstring = "";
boolean input_stringcomplete = false;
boolean sensor_stringcomplete = false;
float ph;

//variables ORP
String inputstring1 = "";
String sensorstring1 = "";
boolean input_stringcomplete1 = false;
boolean sensor_stringcomplete1 = false;
float ORP;

//Variables EC

char EC_data[48]; //we make a 48 b

float EC_float=0; //used to hold a
float TDS_float ; //used to hold a
float SAL_float; //used to hold a
float GRAV_float; //used to hold a

char *EC; //char pointer u

```

```

transmisor Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
transmisor$

char *EC; //char pointer u
char *TDS; //char pointer u
char *SAL; //char pointer u
char *GRAV; //char pointer u

void setup()
{

myserial.begin(9600);
Serial.begin(9600);

pinMode(S1, OUTPUT);
pinMode(S0, OUTPUT);
pinMode(E, OUTPUT);

pinMode(ledon, OUTPUT);
pinMode(ledtx, OUTPUT);
pinMode(lederr, OUTPUT);
digitalWrite(ledon, HIGH);
//PH
inputstring.reserve(10);
sensorstring.reserve(30);
//ORP
inputstring1.reserve(10);
sensorstring1.reserve(30);
}

```

```

transmisor Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
transmisor$

if (sensor_stringcomplete) {
//Serial.println(sensorstring);
ph = sensorstring.toFloat();
ph=ph*100;

Serial.println(ph);
sensorstring = "";
sensor_stringcomplete = false;
}

//////////////////////////////////////
//Datos EC

void datosec()
{

digitalWrite(S0, LOW);
digitalWrite(S1, HIGH);
digitalWrite(E, LOW);

if(myserial.available() > 0){ //if we see the
received_from_sensor=myserial.readBytesUntil(1);
EC_data[received_from_sensor]=0; //we add a 0

if((EC_data[0] >= 48) && (EC_data[0] <=57)){
bars data1();
}
}

```

```
transmisor Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
transmisor $
//FUNCIONES
//FUNCION PH
void datosph(){
    digitalWrite(S0, LOW);
    digitalWrite(S1, LOW);
    digitalWrite(E, LOW);
    if (input_stringcomplete) {
        myserial.print(inputstring);
        inputstring = "";
        input_stringcomplete = false;
    }
    if (myserial.available() > 0) {
        char inchar = (char)myserial.read();
        sensorstring += inchar;
        if (inchar == '\r') {
            sensor_stringcomplete = true;
        }
    }
    if (sensor_stringcomplete) {
```

```
transmisor Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
transmisor $
    }
    else
        Serial.println(EC_data); //if the
    }
}
void pars_data1(){
    EC=strtok(EC_data, ","); //1
    IDS=strtok(NULL, ","); //1
    SAL=strtok(NULL, ","); //1
    GRAV=strtok(NULL, ","); //1
    // Serial.print(" EC:"); //We
    float ftemp2 = atof(EC);
    //ftemp2=ftemp2*10;
    ftemp2=ftemp2+10000;
    Serial.println(ftemp2); //tl
    delay(50);
    // Serial.print(" IDS:"); //We
    float ftemp3 = atof(IDS);
    // ftemp3=ftemp3*10;
    ftemp3=ftemp3+20000;
```

```
transmisor Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
transmisor $
    delay(50);
    // Serial.print(" SAL:"); //We
    float ftemp4 = atof(SAL);
    ftemp4=ftemp4*100;
    ftemp4=ftemp4+3000;
    Serial.println(ftemp4); //th:
    delay(50);
    // Serial.print(" GRAV:"); //We
    float ftemp5 = atof(GRAV);
    // ftemp4=ftemp5*100;
    // ftemp5=ftemp5+6000;
    // Serial.println(ftemp5); //tl
    // delay(50);
//Funcion DO
void datosdo()
{
    digitalWrite(S0, HIGH);
    digitalWrite(S1, LOW);
    digitalWrite(E, LOW);
    if (myserial.available() > 0) { //if we see
```

```
transmisor Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
transmisor $
// Serial.print(" DO:"); //1
Serial.println(DO); //this is the
//DO_float=atoi(DO); //Uncomment th
Serial.print("%sat:"); //We now prin
Serial.println(sat); //this is the
//sat_float=atoi(sat); //Uncomment
}
else //if the outpu
{
//Serial.print(" DO:");
float ftemp = atof(DO_data);
ftemp=ftemp*100;
ftemp=ftemp+2000;
Serial.println(ftemp); //printout that
}
}
void datosorp()
{
```



## Anexo E

### Comandos de operación de circuitos embebidos

#### ❖ Potencial de Hidrogeno (pH)

  
Environmental Robotics  
**pH Circuit**  
EZO™

## UART mode command quick reference

There are a total of 13 different commands that can be given to the EZO™ class pH circuit.

**All commands are ASCII strings or single ASCII characters**

| Command  | Function  | Default state       |
|----------|---|---------------------|
| C        | Enable / Disable or Query continuous readings (pg.22) | Enabled             |
| Cal      | Performs calibration (pg.25)                          | User must calibrate |
| Factory  | Factory reset (pg.32)                                 | N/A                 |
| I        | Device information (pg.27)                            | N/A                 |
| I2C      | Sets the I2C ID number (pg.33)                        | Not set             |
| L        | Enable / Disable or Query the LEDs (pg.21)            | LEDs Enabled        |
| Name     | Set or Query the name of the device (pg.27)           | Not set             |
| R        | Returns a single reading (pg.23)                      | N/A                 |
| Response | Enable / Disable or Query response code (pg.28)       | Enabled             |
| Serial   | Set the baud rate (pg.31)                             | 9600                |
| Sleep    | Enter low power sleep mode (pg.30)                    | N/A                 |
| Status   | Retrieve status information (pg.29)                   | N/A                 |
| T        | Set or Query the temperature compensation (pg.24)     | 25°C                |

Atlas-Scientific.comCopyright © Atlas Scientific LLC All Rights Reserved20

❖ Potencial de óxido reducción (ORP)

## UART mode command quick reference

There are a total of 12 different commands that can be given to the EZO<sup>™</sup> class ORP circuit.

**All commands are ASCII strings or single ASCII characters**

| Command  | Function  | Default state       |
|----------|---|---------------------|
| C        | Enable / Disable or Query continuous readings (pg.19) | Enabled             |
| Cal      | Performs calibration (pg.21)                          | User must calibrate |
| Factory  | Factory reset (pg.27)                                 | N/A                 |
| I        | Device information (pg.22)                            | N/A                 |
| I2C      | Sets the PC ID number (pg.28)                         | Not set             |
| L        | Enable / Disable or Query the LEDs (pg.18)            | LEDs Enabled        |
| Name     | Set or Query the name of the device (pg.22)           | Not set             |
| R        | Returns a single reading (pg.20)                      | N/A                 |
| Response | Enable / Disable or Query response code (pg.23)       | Enabled             |
| Serial   | Set the baud rate (pg.26)                             | 9600                |
| Sleep    | Enter low power sleep mode (pg.25)                    | N/A                 |
| Status   | Retrieve status information (pg.24)                   | N/A                 |

❖ Oxígeno disuelto (OD)



## UART mode command quick reference

There are a total of 16 different commands that can be given to the EZO™ class D.O. circuit.

**All commands are ASCII strings or single ASCII characters**

| Command  | Function   | Default state       |
|----------|--|---------------------|
| C        | Enable / Disable or Query continuous readings (pg.18)        | Enabled             |
| Cal      | Performs calibration (pg.25)                                 | User must calibrate |
| Factory  | Factory reset (pg.31)  | N/A                 |
| I        | Device information (pg.26)                                   | N/A                 |
| I2C      | Sets the I <sup>2</sup> C ID number (pg.32)                  | Not set             |
| L        | Enable / Disable or Query the LEDs (pg.17)                   | LEDs Enabled        |
| Name     | Set or Query the name of the device (pg.26)                  | Not set             |
| O        | Enable / Disable or Query parts of the output string (pg.23) | Dissolved Oxygen    |
| P        | Pressure compensation (pg.22)                                | 0                   |
| R        | Returns a single reading (pg.19)                             | N/A                 |
| Response | Enable / Disable or Query response code (pg.27)              | Enabled             |
| S        | Salinity compensation (pg.21)                                | 0                   |
| Serial   | Set the baud rate (pg.30)                                    | 9600                |
| Sleep    | Enter low power sleep mode (pg.29)                           | N/A                 |
| Status   | Retrieve status information (pg.28)                          | N/A                 |
| T        | Temperature compensation (pg.20)                             | 20° C               |

## ❖ Conductividad Eléctrica



# UART mode command quick reference

There are a total of 15 different commands that can be given to the EZO™ class conductivity circuit.

**All commands are ASCII strings or single ASCII characters**

| Command  | Function   | Default state       |
|----------|--|---------------------|
| C        | Enable / Disable or Query continuous readings (pg.21)        | Enabled             |
| Cal      | Performs calibration (pg.27)                                 | User must calibrate |
| Factory  | Factory reset (pg.35)  | N/A                 |
| I        | Device information (pg.30)                                   | N/A                 |
| I2C      | Sets the I2C ID number (pg.36)                               | Not set             |
| K        | Set or Query the probe K constant (pg.23)                    | K 1.0               |
| L        | Enable / Disable or Query the LEDs (pg.20)                   | LEDs Enabled        |
| Name     | Set or Query the name of the device (pg.29)                  | Not set             |
| O        | Enable / Disable or Query parts of the output string (pg.25) | All Enabled         |
| R        | Returns a single reading (pg.22)                             | N/A                 |
| Response | Enable / Disable or Query response code (pg.31)              | Enabled             |
| Serial   | Set the baud rate (pg.34)                                    | 9600                |
| Sleep    | Enter low power sleep mode (pg.33)                           | N/A                 |
| Status   | Retrieve status information (pg.32)                          | N/A                 |
| T        | Set or Query the temperature compensation (pg.24)            | 25°C                |

## Anexo F

### Características de los sensores

#### ❖ Potencial de Hidrogeno (pH)

| <b>Característica</b>         | <b>Valor</b>                      |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Rango de pH</b>            | 0-14 (error de Na + en > 12,3 pH) |
| <b>Velocidad de respuesta</b> | 95% en 1 segundo                  |
| <b>Punto Isopotencial</b>     | pH 7,00 (0 mV)                    |
| <b>Presión</b>                | 100 PSI                           |
| <b>Material</b>               | Epoxy                             |
| <b>Cuerpo</b>                 | Sumergible completamente          |
| <b>Temperatura:</b>           | 1°C - 99°C                        |

#### ❖ Potencial de óxido reducción (ORP)

| <b>Característica</b>    | <b>Valor</b>             |
|--------------------------|--------------------------|
| <b>Rango de medición</b> | ± 2000mV                 |
| <b>Presión</b>           | 100 PSI                  |
| <b>Material</b>          | Epoxy                    |
| <b>Cuerpo</b>            | Sumergible completamente |
| <b>Cable</b>             | Coaxial 76cm de longitud |
| <b>Temperatura:</b>      | 1°C - 99°C               |

❖ **Oxígeno disuelto (OD)**

| Característica           | Valor                    |
|--------------------------|--------------------------|
| <b>Rango de medición</b> | 0-20ppm                  |
| <b>Cuerpo</b>            | Sumergible completamente |
| <b>Cable</b>             | Coaxial 76cm de longitud |
| <b>Temperatura:</b>      | 50°C                     |

❖ **Conductividad Eléctrica**

| Característica           | Valor                           |
|--------------------------|---------------------------------|
| <b>Rango de medición</b> | 5 $\mu$ S - 200,000 $\mu$ S     |
| <b>Cuerpo</b>            | Sumergible completamente        |
| <b>Cable</b>             | Coaxial 76cm de longitud        |
| <b>Temperatura:</b>      | 25 °C por defecto o programable |