

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO MODULAR SUMERGIBLE  
PARA LA MEDICIÓN Y TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA.**

MATEO LAMPREA PEÑA  
JAIME RENE OSORIO FONSECA

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:  
HERNANDO EFRAÍN LEÓN RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD EL BOSQUE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
MAYO, 2019

UNIVERSIDAD EL BOSQUE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA DE ÉNFASIS: CONTROL Y AUTOMATISMOS INDUSTRIALES

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO MODULAR SUMERGIBLE  
PARA LA MEDICIÓN Y TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA**

MATEO LAMPREA PEÑA  
JAIME RENE OSORIO FONSECA

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:  
HERNANDO EFRAÍN LEÓN RODRÍGUEZ

## **NOTA DE SALVEDAD**

Según el artículo 37 del 14 de diciembre de 1989 del acuerdo 017, "La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia".

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos inmensamente a nuestro director de proyecto el profesor Hernando Efraín León por toda su ayuda brindada en el desarrollo de nuestro proyecto, por su compromiso e interés con el mismo; de igual manera a nuestros familiares que nos brindaron todo el apoyo y amor necesario para seguir adelante sin importar las dificultades que se nos fueron presentando durante este último paso para convertirnos en grandes profesionales.

## RESUMEN

El proyecto del desarrollo de un prototipo modular sumergible para la medición y toma de muestras del agua, consistió en la implementación de tecnologías que permitan la capacidad tomar 5 muestras y de medir 6 variables fisicoquímicas del agua como lo son el pH, temperatura, nivel de oxígeno disuelto (O.D), conductividad, ORP y profundidad mediante la utilización de sensores, tarjetas de adquisición de señales y actuadores embebidos en dos módulos sumergibles previamente diseñados por nuestro director.

De igual manera se desarrolló una interfaz gráfica que permitiera al usuario la visualización de los datos obtenidos del módulo de medición y la activación del módulo de muestras.

Como parte fundamental del proyecto, se realizaron pruebas individuales para cada uno de los sensores y una prueba general de campo para cada uno de los módulos (medición y muestras), se pudo comprobar que los resultados obtenidos convierten a los prototipos en unas herramientas que pueden facilitar el proceso de estudios de calidad del agua.

*Palabras Clave:* calidad del agua, módulo de medición, módulo de muestras, variables físico-químicas.

## **ABSTRACT**

The project of the development of a submersible modular prototype for the measurement and sampling of water, consisted in the implementation of technologies that allow the capacity to take 5 samples and to measure 6 physicochemical variables of the water, such as pH, temperature, level of water, dissolved oxygen (OD), conductivity, ORP and depth by using sensors, signal acquisition cards and embedded actuators in two submersible modules previously designed by our director.

In the same way, a graphic interface was developed that allows the user to visualize the data obtained from the measurement module and the activation of the sample module.

As a fundamental part of the project, individual tests were performed for each of the sensors and a general field test for each of the modules (measurement and samples), it was found that the results obtained make the prototypes tools that can be facilitate the process of water quality studies.

*Keywords:* quality of water, sensors and samples, measurement module, sample module, physical-chemical variables.

## Tabla de contenido

1	Introducción .....	16
2	Definición del problema .....	16
2.1	Contexto.....	16
2.2	Manifestación.....	17
2.3	Causas .....	17
2.4	Efectos .....	17
2.5	Aspectos a solucionar .....	17
2.6	Justificación del proyecto .....	18
2.7	Propuesta de solución .....	18
3	Estado del arte .....	18
3.1	Bases teóricas .....	18
4	Glosario de términos .....	28
5	Objetivos:.....	28
5.1	General.....	28
5.2	Específicos.....	29
6	Requerimientos.....	29
6.1	Funcionales.....	29
6.2	De calidad.....	30
6.3	Restictivos .....	30
7	Diseño Funcional.....	31
7.1	Cajas con entradas y salidas de cada sistema propuesto. ....	31
7.2	Selección de alternativa .....	35
8	Diseño detallado .....	35
8.1	Requerimientos de subsistemas .....	35
8.2	Requerimientos de componentes. ....	42
8.3	Esquemáticos del sistema.....	77
9	Plan de Pruebas del Sistema .....	80
9.1	Plan de pruebas de componentes.....	80
9.2	Plan de pruebas de subsistemas .....	91
9.3	Plan de pruebas de integración.....	98
10	Diseño industrial .....	99
10.1	Conceptualización y definición de diseño. ....	99
11	Implementación.....	124

11.1	Implementación de subsistemas .....	125
11.2	Integración del sistema .....	145
12	Pruebas .....	150
12.1	Pruebas de componentes .....	150
12.2	Pruebas de subsistemas .....	152
12.3	Prueba de integración del sistema.....	160
13	Ajustes .....	161
14	Pruebas del Sistema.....	162
14.1	Prueba de módulo de medición.....	163
15	Manuales .....	169
16	Resultados .....	169
16.1	Prueba Resultado obtenido sensor de temperatura:.....	170
16.2	Prueba Resultado obtenido sensor de O.D: .....	170
16.3	Prueba Resultado obtenido sensor de PH:.....	171
16.4	Resultado obtenido sensor de Conductividad: .....	172
16.5	Resultado obtenido sensor de ORP: .....	173
16.6	Resultado obtenido de la profundidad: .....	173
16.7	Resultado obtenido recolección de muestras:.....	175
16.8	Resultado obtenido estabilidad en la transmisión de datos: .....	175
17	Discusión .....	176
17.1	Requerimientos de sensores:.....	176
17.2	Requerimientos de restricción:.....	183
17.3	Mejoras y oportunidades identificadas: .....	185
18	Conclusiones .....	187
19	Referencias Documentales.....	189
20	Anexos.....	190
20.1	Manual de Inicio Snake Robotic System.....	190
20.2	Procedimiento para calibración de los sensores. ....	193
20.3	Conexión Bluetooth y aplicativo: .....	199

## Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama general de la adquisición de los parámetros [6].	21
Figura 2.The snake robot ACM III [4].	23
Figura 3.The Anna Konda fire-fighting robot [4].	24
Figura 4.The Pneumosnake robot [10].	24
Figura 5.The Mamba robot [10].	25
Figura 6.Diseño y prototipo del "Mobile Sensor Nodes (MSN)". [7].	26
Figura 7.Diseño funcional 1, Módulo de medición y toma de muestras "Snake Robot"...	31
Figura 8.Diseño funcional 2, Módulo de medición y toma de muestras "Snake Robot"...	33
Figura 9.Diseño subsistema A, medición y acondicionador del parámetro PH.....	35
Figura 10.Diseño subsistema B, medición del parámetro Oxígeno Disuelto (DO).....	36
Figura 11.Diseño subsistema C, medición del parámetro Temperatura.....	36
Figura 12.Diseño subsistema D , Medición del parámetro Profundidad.....	37
Figura 13.Diseño subsistema E , medición del parámetro conductividad.....	37
Figura 14.Diseño subsistema F , Microcontrolador.....	38
Figura 15. Diseño subsistema G, sistema de transmisión-recepción de datos.....	39
Figura 16.Diseño subsistema H, sistema de recepción-transmisión de datos.....	40
Figura 17.Diseño subsistema I, sistema de Interfaz Gráfica de Usuario (GUI).....	41
Figura 18.Diseño subsistema J, Sistema de toma de muestras. ....	42
Figura 19.Diseño funcional del subsistema A, el subsistema tiene 3 componentes. ....	42
Figura 20.Hoja Técnica de sensor de PH (Industrial PH Probe).....	44
Figura 21.Hoja Técnica del circuito acondicionador de PH (Ezo Embedded ph circuit). ..	46
Figura 22.Diseño funcional del subsistema B, el subsistema tiene 3 componentes. ....	47
Figura 23.Hoja Técnica de sensor de Nivel de Oxigenación (Dissolved Oxygen Probe). .	49
Figura 24.Hoja Técnica del circuito acondicionador de Nivel de Oxigenación. ....	51
Figura 25.Diseño funcional del subsistema C. ....	51
Figura 26.Hoja Técnica de sensor de temperatura. ....	53
Figura 27.Hoja Técnica del circuito acondicionador del sensor de Temperatura. ....	55
Figura 28.Diseño funcional del subsistema D, el subsistema tiene 2 componentes. ....	55
Figura 29.Hoja Técnica de sensor de presión .....	57
Figura 30.Diseño funcional del subsistema E, el subsistema tiene 3 componentes. ....	57
Figura 31.Hoja Técnica de sensor de conductividad. ....	59
Figura 32.Hoja Técnica del circuito acondicionador de conductividad.....	61
Figura 33.Diseño funcional del subsistema F, el subsistema tiene 3 componentes.....	61
Figura 34.Hoja Técnica del circuito multiplexor de canales de comunicación.....	64
Figura 35.Hoja Técnica del microcontrolador del Arduino.....	67
Figura 36.Diseño funcional del subsistema G, el subsistema tiene 2 componentes. ....	67
Figura 37.Hoja Técnica del módulo Bluetooth.....	70
Figura 38.Diseño funcional del subsistema H, el subsistema tiene 1 componente. ....	71
Figura 39.Diseño funcional del subsistema I, el subsistema tiene 1 componente. ....	72
Figura 40.Diseño funcional del subsistema J, el subsistema tiene 3 componente. ....	73
Figura 41.Simulación del puente h l293d.....	75
Figura 42.Hoja Técnica de la motobomba [17]. ....	77
Figura 43. Esquemático completo del módulo de medición .....	77
Figura 44.Diagrama de conexiones módulo de medición.....	78
Figura 45.Diagrama de conexiones Sensor de Temperatura.....	78

Figura 46. Esquemático de acondicionamiento de señal de temperatura .....	79
Figura 47. Diagrama de conexiones del módulo de muestras. ....	79
Figura 48. Esquemático completo del módulo de muestras. ....	80
Figura 49. Diseño 1 de módulo de medición. ....	109
Figura 50. Kit de sensores de Atlas Instrument. ....	110
Figura 51. CAD de diseño fundamental de Distribución de sensores. ....	110
Figura 52. CAD de diseño fundamental de Distribución de bombas peristálticas. ....	111
Figura 53. CAD de diseño de estructura de módulo de medición. ....	111
Figura 54. CAD de diseño fundamental de acoplamiento de módulos .....	111
Figura 55. Sistema de flotabilidad Elegido .....	112
Figura 56. Diseño 2 de módulo de medición. ....	112
Figura 57. Diseño de pestaña Home .....	113
Figura 58. Diseño de ingreso de usuario. ....	114
Figura 59. Diseño de pestaña de conexión. ....	115
Figura 60. Diseño de tabla de obtención de datos. ....	115
Figura 61. Diseño de reporte generado. ....	116
Figura 62. Diseño de pestaña de Recolección de muestras de agua. ....	117
Figura 63. Estructura básica del diseño de módulos de medición. ....	117
Figura 64. Ficha técnica de material de PVC. ....	118
Figura 65. Empaques de tubo Dresser de 4" .....	118
Figura 66. Cable UTP categoría 6, 4 Hilos. ....	119
Figura 67. Bolsas seleccionadas para recolección de muestras. ....	119
Figura 68. Infografía de los materiales principales del módulo de medición. ....	120
Figura 69. Infografía de los materiales principales del módulo de toma de muestras. ....	121
Figura 70. Plano bidimensional del módulo de medición. ....	124
Figura 71. Plano tridimensional del módulo de medición. ....	124
Figura 72. Circuito acondicionador de pH. ....	125
Figura 73. Circuito acondicionador de O.D. ....	126
Figura 74. Circuito acondicionador de conductividad. ....	126
Figura 75. Circuito acondicionador de ORP. ....	127
Figura 76. Esquemático del circuito acondicionador de temperatura. ....	128
Figura 77. Conexión tentacle shield y arduino. ....	128
Figura 78. Implementación de la tarjeta Motor Shield. ....	129
Figura 79. Implementación de modulo bluetooth. ....	130
Figura 80. Calibración de sensor de PH. ....	131
Figura 81. Calibración de sensor de PH, punto low. ....	131
Figura 82. Calibración de sensor de O.D .....	132
Figura 83. Calibración de sensor de O.D, punto 0 .....	132
Figura 84. Calibración de sensor de Conductividad. ....	133
Figura 85. Calibración de sensor de Conductividad, punto low 12880 .....	133
Figura 86. Calibración de sensor de ORP. ....	134
Figura 87. Calibración de sensor de ORP, punto 25 mV .....	134
Figura 88. Sección Registro de usuario y conexión puerto serial .....	135
Figura 89. Sección conexión puerto serial, Mostrar datos en una tabla. ....	136
Figura 90. Sección conexión puerto serial, Mostrar Datos en una tabla .....	136
Figura 91. Sección de Generar Datos a Excel y generar reportes .....	137
Figura 92. Sección Recolectar Muestras y Ayuda de usuario. ....	137
Figura 93. Sección Recolectar Muestras y Soltar Muestras. ....	138

Figura 94. Pantalla inicial del aplicativo .....	139
Figura 95. Pantalla ingresar usuario.....	139
Figura 96. Pantalla Conexión.....	141
Figura 97. Pantalla Obtención de datos.....	142
Figura 98. Pantalla Recolección de muestras. ....	143
Figura 99. Control de errores conexión. ....	143
Figura 100.Prueba individual del Aplicativo.....	144
Figura 101.Prueba individual del Aplicativo.....	144
Figura 102.Captura de datos sensado al oprimir la opción muestras .....	145
Figura 103. Partes fundamentales del módulo de medición.....	146
Figura 104.Sensores integrados del módulo de medición.....	147
Figura 105. Integración del módulo de medición.....	147
Figura 106. Proceso de toma de muestras .....	148
Figura 107. Partes fundamentales del módulo de muestras. ....	149
Figura 108. Integración del módulo de muestras. ....	150
Figura 109. Pruebas de funcionamiento de las bombas peristálticas. ....	151
Figura 110. Prueba de transmisión de datos del bluetooth.....	152
Figura 111. Prueba del sensor de pH en sustancia de 4.00. ....	153
Figura 112. Prueba del sensor de pH en sustancia de 10.00. ....	153
Figura 113. Prueba del sensor de pH en sustancia de 7.00. ....	153
Figura 114. Prueba del sensor de O.D al aire libre .....	154
Figura 115.Prueba del sensor de O.D en sustancia de 0 mg/L.....	154
Figura 116.Prueba del sensor de conductividad al aire libre. ....	155
Figura 117.Prueba del sensor de conductividad en sustancia de 12880 $\mu$ S/cm.....	156
Figura 118. Prueba del sensor de conductividad en sustancia de 80000 $\mu$ S/cm.....	156
Figura 119. Prueba del sensor de ORP en sustancia de 225 mV. ....	157
Figura 120. Prueba de sensor de temperatura en agua. ....	158
Figura 121. Prueba de sensor de temperatura en agua caliente. ....	158
Figura 122. Prueba de sensor de temperatura con cubo de hielo.....	159
Figura 123. Prueba de sensor de presión. ....	159
Figura 124. Prueba de tarjeta Motor Shield .....	160
Figura 125. Arreglo generado del módulo de medición. ....	161
Figura 126. Tarros de recolección de muestras de 30 ml. ....	161
Figura 127.Esquemático del circuito acondicionador de temperatura .....	162
Figura 128.Módulo de medición en estanque de agua. ....	163
Figura 129. Fotografía de medición in-situ. ....	164
Figura 130.Datos exportados a excel prueba 1 parte1 .....	164
Figura 131.Datos exportados a Excel prueba 1 parte2 .....	165
Figura 132.Reporte Generado prueba 1 parte1. ....	165
Figura 133.Reporte Generado prueba 1 parte2 .....	166
Figura 134.Prueba con variación de datos mediante inserción de vinagre.....	166
Figura 135. Datos recolectados en Excel. ....	167
Figura 136. Reporte Generado prueba 2. ....	167
Figura 137.Ventana de toma de muestras.....	168
Figura 138. Prueba del módulo de muestras.....	169
Figura 139.Gráfica de dispersión de los datos de temperatura. ....	170
Figura 140. Gráfica de dispersión de los datos de OD.....	171
Figura 141. Gráfica de dispersión de los datos de pH. ....	171

Figura 142. Gráfica de dispersión de los datos de conductividad. ....	172
Figura 143. Gráfica de datos de Conductividad en los intervalos de tiempo de 240s a 420s. .....	172
Figura 144. Gráfica de datos de Conductividad en los intervalos de tiempo de 450s a 630s. .....	173
Figura 145. Gráfica de dispersión de los datos de ORP. ....	173
Figura 146. Gráfica de datos de profundidad con referencia de 5v. ....	174
Figura 147. Gráfica de datos de profundidad con referencia de 1.1v. ....	174
Figura 148. Imagen de uno de los datos con error de trama en la prueba realizada en campo. ....	175
Figura 149. Imagen de uno de los datos con error de trama en la prueba realizada en campo. ....	176
Figura 150. Imagen de uno de los datos con error de trama en la prueba realizada en campo. ....	176
Figura 151. Información técnica del circuito EZO-pH. ....	177
Figura 152. Información técnica del circuito EZO-DO. ....	178
Figura 153. Información técnica del circuito EZO-EC. ....	180
Figura 154. Información técnica del circuito EZO-ORP. ....	181
Figura 155. Información técnica del pt 1000. ....	181
Figura 156. Información técnica del sensor de presión. ....	182
Figura 157. Peso de módulo. ....	184
Figura 158. Valores de medición de pH en lagos de Bogotá. ....	185
Figura 159. Valores de medición de conductividad en lagos de Bogotá. ....	185
Figura 160. Valores de medición de temperatura en lagos de Bogotá. ....	185
Figura 161. Marcador de la tapa a ser desenroscada. ....	190
Figura 162. Forma gráfica de como abrir el módulo. ....	191
Figura 163. Activación del switch ubicado en el interior del módulo. ....	191
Figura 164. Carga de baterías. ....	192
Figura 165. Protección de sondas de PH y ORP. ....	193
Figura 166. Selección de la placa de Arduino Mega en el ID de arduino. ....	194
Figura 167. Seleccionar el puerto generado por la placa al ser conectado al pc. ....	194
Figura 168. Ingreso al monitor Serial de Arduino. ....	195
Figura 169. Calibración del sensor de PH. ....	196
Figura 170. Sustancia de calibración del sensor de ORP. ....	197
Figura 171. Preservación de la sustancia de calibración. ....	198
Figura 172. Calibración del sensor de O.D. ....	198
Figura 173. Calibración en Seco del sensor. ....	198
Figura 174. Deshabilitar dispositivo bluetooth del pc. ....	199
Figura 175. Conexión de USB Bluetooth al PC. ....	200
Figura 176. Instalación del Driver Controlador USB. ....	200
Figura 177. Instalación de la aplicación. ....	201
Figura 178. Pantalla inicial de la aplicación. ....	202
Figura 179. Abrir configuración bluetooth. ....	203
Figura 180. Abrir configuración bluetooth. ....	203
Figura 181. Abrir Más opciones de bluetooth. ....	204
Figura 182. Puerto de enlace bluetooth. ....	204
Figura 183. Elección del puerto común generado. ....	205

## Lista de Tablas

Tabla 1. Índices de calidad del Agua Reconocidos Mundialmente [2].	19
Tabla 2. Comparativa de diferentes tecnologías subacuáticas. [14].	27
Tabla 3. Selección del componente a.	43
Tabla 4. Selección del componente c.	45
Tabla 5. Selección del componente d.	47
Tabla 6. Selección del componente f.	49
Tabla 7. Selección del componente g.	52
Tabla 8. Selección del componente i.	53
Tabla 9. Selección del componente j.	56
Tabla 10. Selección del componente l.	58
Tabla 11. Selección del componente n.	60
Tabla 12. Selección del componente o.	63
Tabla 13. Selección del componente p.	65
Tabla 14. Selección del componente r.	68
Tabla 15. Selección del componente x.	74
Tabla 16. Selección del componente w.	75
Tabla 17. Selección del componente v.	76
Tabla 18. Plan de pruebas de componente Industrial pH probe de Atlas Scientific.	81
Tabla 19. Plan de pruebas de componente Ezo Embedded pH circuit de Atlas Scientific.	81
Tabla 20. Plan de pruebas de componente Dissolved Oxygen Probe de Atlas Scientific.	82
Tabla 21. Plan de pruebas de componente Ezo Embedded Dissolved Oxygen Circuit.	82
Tabla 22. Plan de pruebas de componente Industrial PH probe (PT 1000).	83
Tabla 23. Plan de pruebas de componente Ezo Embedded Temperature Circuit.	83
Tabla 24. Plan de pruebas de componente A-100 Analog Pressure Sensor	84
Tabla 25. Plan de pruebas de componente Conductivity Probe K 1.0.	84
Tabla 26. Plan de pruebas de componente Ezo Embedded Conductivity Circuit.	85
Tabla 27. Plan de pruebas de componente Tentacle Shield for arduino de white box.	85
Tabla 28. Plan de pruebas de componente Arduino Mega.	87
Tabla 29. Plan de pruebas de componente SparkFun Bluetooth Modem.	87
Tabla 30. Plan de pruebas de componente Bluetooth del computador.	88
Tabla 31. Plan de pruebas de componente Interfaz Gráfica.	89
Tabla 32. Plan de pruebas de componente Puente H L293D.	90
Tabla 33. Plan de pruebas de componente V Energy LiPo.	90
Tabla 34. Plan de pruebas de componente Peristaltic Liquid Pump with Silicone Tubing.	90
Tabla 35. Plan de pruebas del subsistema A.	91
Tabla 36. Plan de pruebas del subsistema B.	92
Tabla 37. Plan de pruebas del subsistema C.	92
Tabla 38. Plan de pruebas del subsistema D.	93
Tabla 39. Plan de pruebas del subsistema E.	93
Tabla 40. Plan de pruebas del subsistema F.	94
Tabla 41. Plan de pruebas del subsistema G.	95
Tabla 42. Plan de pruebas del subsistema H.	96
Tabla 43. Plan de pruebas del subsistema I.	96
Tabla 44. Plan de pruebas del subsistema J.	97
Tabla 45. Plan de pruebas del subsistema H.	98

Tabla 46. Selección de material para carcasa. ....	107
Tabla 47. Presupuesto para realización de proyecto. ....	108
Tabla 48. Cuadro de evaluación de alternativas de configuración. ....	112
Tabla 49. Cantidad de muestras recolectadas. ....	175

## **1 INTRODUCCIÓN**

El siguiente trabajo pretende mostrar el diseño y la elaboración del proyecto "*Desarrollo de un prototipo modular sumergible para la medición y toma de muestras del agua*", el cual pretende ser una herramienta electrónica con integración de herramientas sensoriales y un sistema de recolección de muestras que brindarán la facilidad a un usuario, de poder medir los parámetros físico-químicos del agua suficientes para determinar su calidad de manera eficiente.

A continuación, en los siguientes capítulos se desarrollará el procedimiento de investigación y diseño respectivo; el cual mediante la definición de una problemática se propone una solución, la cual, para su correcta implementación, requerirá de una propuesta de diseño que detalle a profundidad los elementos y subsistemas necesarios a implementar.

## **2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

### *2.1 Contexto*

El grupo de investigación Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida, perteneciente a la Universidad El Bosque, en la línea de investigación y desarrollo adelanta el proyecto Snake Robotic System for Underwater Testing and Inspection.

El proyecto aprobado por la Vicerrectoría de Investigaciones solicita un producto tecnológico mediante la participación de auxiliares de Investigación, divididos en dos grupos, el primero se encargará del desarrollo del módulo de navegación del sistema robótico; mientras que el segundo grupo, al cual pertenecemos "*Desarrollo de un prototipo modular sumergible para la medición y toma de muestras del agua*", desarrollará los módulos de medición y toma de muestras; para ello se espera realizar la implementación tecnológica necesaria que permita al usuario realizar el análisis de la calidad del agua mediante la medición de 6 parámetro físico-químicos (pH, nivel de oxigenación (O.D), conductividad, ORP, temperatura y profundidad) y la recolección de 5 muestras de agua para el posterior análisis en laboratorio, todo esto debe estar vinculado al desarrollo de una aplicativo con una interfaz gráfica amigable al usuario.

## *2.2 Manifestación*

En la actualidad los procedimientos de tomas de muestras en cuerpos hídricos se realizan rudimentariamente, con la necesidad de ubicar un operario sobre el afluente, la obtención de las muestras se realiza mediante la recolección de agua en envases, los cuales serán posteriormente transportados y analizados.

Los procesos de tomas de muestras en los cuerpos hídricos son difíciles e inexactos por la forma procedimental en que se realizan.

## *2.3 Causas*

Entre las principales causas se identifican:

1. Inaccesibilidad en las partes más profundas de los cuerpos hídricos en cuestión.
2. No se obtienen datos exactos en las profundidades deseadas.
3. Gran riesgo de accidentalidad en la operación de muestreo.
4. Se requieren una variedad de instrumentos para lograr medir todas las variables que determinan la calidad del agua.

## *2.4 Efectos*

Los efectos que conllevan estas causas son:

1. Recolección de datos insuficiente e inexacto, para un estudio formal de los principales causantes de la contaminación en el cuerpo hídrico en cuestión.
2. Problemas al docente y la universidad al producirse algún accidente al realizar prácticas de tomas de muestras en cuerpos hídricos.

## *2.5 Aspectos a solucionar*

1. Inaccesibilidad en las partes más profundas de los cuerpos hídricos en cuestión.
2. No se obtienen datos exactos en las profundidades deseadas.

## *2.6 Justificación del proyecto*

El monitoreo de la calidad hídrica es fundamental ya que entrega información técnica, para el desarrollo de metodologías que le permitan a un usuario la obtención de indicadores ambientales que ayuden a desarrollar planes de control o mitigación de los posibles problemas de contaminación.

Al integrar el prototipo con herramientas sensoriales, se espera obtener una recopilación de datos exactos, donde se pueda tener en cuenta los distintos niveles de profundidad del cuerpo hídrico, sin exponer a ningún operador.

## *2.7 Propuesta de solución*

Realizar un módulo adaptable a un robot sumergible para facilitar la toma de muestras, y obtener datos exactos.

# **3 ESTADO DEL ARTE**

## *3.1 Bases teóricas*

### *3.1.1 INTRODUCCIÓN A LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA.*

Dada la naturaleza renovable del agua, este recurso se ha tratado y gestionado tradicionalmente como si fuese ilimitado; sin embargo, el incremento indiscriminado de sus uso ha acarreado consigo un acelerado deterioro en su calidad [1], es por esto que en países y territorios en los cuales sus alcances socioeconómicos están determinados por este vital recurso, es necesario poder ejercer un control de su calidad en función de parámetros físicos-químicos, para poder mitigar los posibles agentes que contaminan en gran medida el afluyente hídrico en cuestión.

En general se identifican dos métodos importantes para la medición de la calidad del agua en un afluyente hídrico, la primera es la consideración biológica del afluyente, esta se refiere a la correspondencia de la calidad del afluyente en relación a la vida acuática que este contiene; la segunda es la información entregada por el análisis de los recursos físico-químicos del agua, en este método, los parámetros dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida

acuática, la ventaja reside en que el método de las variables físico-químicas puede ser mucho más rápido y el tiempo de monitoreo puede ser mucho más frecuente, en comparación a los métodos biológicos [2].

Para el desarrollo de la valoración de la calidad hídrica se toman en cuenta los indicadores ICA e ICO los cuales se definen como un grupo de parámetros físico-químicos, previamente definidos por norma. Comúnmente el indicador más utilizado es el ICA-NSF, surgido en los años setenta en la actualidad es utilizado para supervisar la calidad de los ríos a través del tiempo y comparar aguas de abastecimiento en Estados Unidos y muchos países del Mundo [2].

Tabla 1. Índices de calidad del Agua Reconocidos Mundialmente [2].

ICA	Variables incluidas	Tipo de estimación
Estados Unidos		
NSF	Temperatura, pH, OD, DBO, SDT, turbiedad, coliformes fecales, NO <sub>3</sub> -N y fosfatos total	Curvas - Promedio ponderado
Dinius (1987)	Temperatura (aire-superficie), pH, OD, DBO, color, conductividad, NO <sub>3</sub> -N, alcalinidad, dureza, cloruros, coliformes totales y fecales	Ecuación - Media geométrica ponderada
Agua de Oregon OWQI	Temperatura, pH, OD, DBO, ST, NO <sub>2</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N, fosfatos totales y coliformes fecales	Ecuaciones - Cuadrado de la media armónica
Idaho	OD, turbidez, fosfatos totales, coliformes fecales y conductividad	Ecuación - Proporción logarítmica
Canadá		
British Columbia	Se basa en consecución de objetivos los cuales son los límites seguros de las variables dadas por la normatividad.	Fórmulas - Raíz cuadrada de la sumatoria
México		
León (1998)	Diferencia de Temperatura, pH, OD, DBO <sub>5</sub> , DQO, SST, NO <sub>3</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N, fosfatos, alcalinidad, dureza, fenoles, cloruros, coliformes totales y fecales	Fórmulas - Promedio geométrico ponderado

Para el desarrollo de nuestro proyecto se plantea la recolección y toma de datos de:

- Temperatura.
- Nivel de oxigenación.
- pH.
- Profundidad.
- Conductividad

La importancia del análisis de estos datos son de vital importancia ya que, la temperatura del agua tiene una gran importancia, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases; el oxígeno disuelto es un parámetro indicativo de la calidad hídrica, está expresamente relacionado con la temperatura, la concentración máxima del oxígeno disuelto en el intervalo normal de temperaturas es de aproximadamente 9 mg/L y el PH está relacionado con la medida de la concentración de iones hidronio ( $H_3O^+$ ) en la disolución [3].

En la actualidad, conocer la calidad del agua mediante parámetros ayuda a identificar posibles problemas que puedan afectar tanto la flora como la fauna del cuerpo hídrico en cuestión, es por eso que se han venido desarrollando soluciones acerca de la medición de los parámetros de calidad del agua; para ello la implementación de herramientas sensoriales son la solución más exacta a la hora de determinar dichos valores; para su implementación se desarrollan sistemas de navegación o vehículos capaces de operar sobre o bajo el agua, con el fin de aplicar las herramientas sensoriales escogidas[6].

La elección de las herramientas sensoriales está determinada por los parámetros a medir, cada uno de ellos entrega una información precisa acerca de un estado en específico del cuerpo hídrico, por ejemplo; el nivel de oxigenación nos permite determinar los niveles de contaminación en relación a los desechos orgánicos; el pH determina el entorno óptimo de las reacciones químicas que permiten el desarrollo de condiciones vitales para la fauna acuática y la temperatura es el factor de más importancia para la proliferación de los sistemas de flora y fauna acuática.

El desarrollo básico de medición de los parámetros por medio de herramientas sensoriales se puede identificar mediante un flujo operativo de varios procesos, entre los cuales se encuentra la adquisición de los datos a través de los sensores mediante comandos realizados por computadora, la computadora se encarga del procesamiento de los datos y entregarlos mediante una interfaz o mediante un servidor web [6].

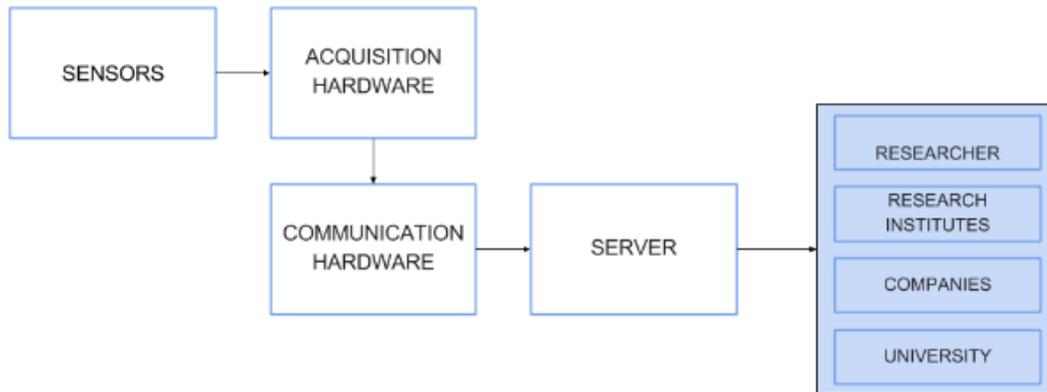


Figura 1. Diagrama general de la adquisición de los parámetros [6].

### 3.1.2 SISTEMAS ROBÓTICOS BIO-INSPIRADOS.

El desarrollo del prototipo estará inspirado en una serpiente, en la actualidad en la industria robótica se define un Snake Robot o robot serpiente como un mecanismo que está diseñado para moverse como una serpiente biológica cuya principal inspiración es la robustez y la estabilidad que tiene el movimiento biológico de estos animales. Los Snake robots tiene gran potencial, ya que pueden satisfacer la necesidad de movilidad en entornos desafiantes, de difícil acceso y lugares desconocidos. Principalmente estos robots están constituidos por una serie de módulos articulados interconectados capaces de doblarse en cualquier plano, esta forma de diseño le da al robot muchos grados de libertad, los cuales le proporcionan habilidades únicas de movilidad, en lugares desordenados e irregulares; aunque se hacen difícil de controlar [4].

### 3.1.3 Robots para monitorear el medioambiente.

El monitoreo del medio ambiente es una actividad que requiere de paciencia y de mucha mano de obra. A pesar de que existen muchos instrumentos portátiles, para la gran mayoría de los monitoreos, se involucra la recolección de muestras antes del análisis de laboratorio o campo. El ambiente acuático es específicamente uno de los más difíciles y problemáticos de monitorear, debido a las grandes masas de agua que se involucran. Además de las dificultades operacionales en los cuerpos hídricos la contaminación rara vez es estática, sino que siempre en constante dispersión, para el seguimiento de esta, se han desarrollado múltiples soluciones robóticas en relación a la movilidad.

Para el monitoreo de cuerpos hídricos se han desarrollado varios tipos de robots, inclusive algunos bio-inspirados en los movimientos de los peces como lo fue el robo fish, este robot podía monitorear la contaminación en ambientes acuáticos sumergidos, pues tenía la capacidad de recolectar variables del agua con una resolución sin precedentes. Posteriormente bajo el mismo biodiseño de los peces se fue creado un robot acuático, para monitorear el impacto de los derrames de petróleo, capaz de detectar y rastrear los desechos de petróleo crudo mediante la implementación de sensores.

Además, la creación de vehículos autónomos subacuáticos autónomos(AUV) proporcionaron una manera eficaz de hacer el monitoreo, sin embargo, las limitaciones de la batería fueron un problema constante en estos diseños.

Dentro del proyecto bio-inspirados la clave que abordan los proyectos son:

1. Inteligencia avanzada e inteligencia de enjambre (algoritmos de enjambre, etc.);
2. Diseño robótico (mecanismos de natación, control de movimiento, etc.);
3. Detección y análisis químicos (para nitratos, aceite, oxígeno disuelto, etc.);
4. Comunicación subacuática (técnicas acústicas avanzadas); y
5. Hidrodinámica (dinámica de fluidos computacional y pruebas hidrodinámicas). [11]

### *3.2 TECNOLOGÍAS.*

#### *3.2.1 ROBOTS MODULARES Y APLICACIONES:*

Los Robots modulares son un tipo de robots que constan de varios módulos con interfaces de acoplamiento uniformes que permiten la transferencia de fuerzas y momentos mecánicos, potencia eléctrica y comunicación a lo largo de todo el robot. Este tipo de robots de enfoque modular son reconfigurable es decir permite cambiar de forma y por ende de función, lo que lo hace un tipo de robot versátil y rentable. Existen dos tipos de robots modulares: robots de enrejado y robots de cadena. Los robots modulares de tipo enrejado, ordena los módulos para formar una cuadrícula mientras que los otros robots están compuestos por una cadena de módulos lo que lo hacen propicios para la locomoción y la manipulación de objetos [5].

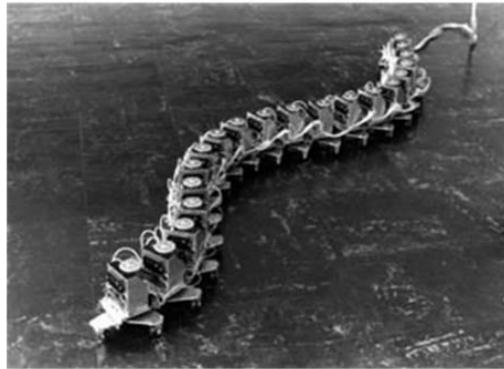
#### *3.2.2 SNAKE ROBOTS Y TECNOLOGÍAS ASOCIADAS:*

Los Snake robots son por lo general robots largos y flexibles con una pequeña proporción de sección transversal que les permite entrar y operar en espacios reducidos. La mayoría son de diseño modular y comprenden una serie de segmentos conectados que confieren flexibilidad, y aunque la mayoría están destinados a aplicaciones terrestres, se han desarrollado algunos dispositivos acuáticos [10]. Aunque son considerados una etapa relativamente temprana de desarrollo, tienen el potencial de desempeñar un papel clave en una amplia gama de aplicaciones industriales.

Varios grupos académicos han llevado a cabo una cantidad limitada de investigaciones sobre robots serpientes a lo largo de los años siendo la investigación más importante en Europa la realizada por el Snake Robotics Lab en el ROBOTNOR Center for Advanced Robotics que se inauguró formalmente en 2012. A continuación, se nombra el proceso evolutivo del desarrollo de los prototipos de Snake Robots.

#### *3.2.2.1 "ACMIII" ROBOT*

Fue el primer robot bio-inspirado en una serpiente, diseñado por el profesor Shigeo Hirose en 1972.



*Figura 2. The snake robot ACM III [4].*

#### *3.2.2.2 "ANNA KONDA" ROBOT*

Este trabajo comenzó en 2003 después de que varios incendios importantes en la ciudad de Trondheim condujeron a una iniciativa para mejorar la seguridad contra incendios. Una idea que surgió de esto fue el concepto de una manguera de fuego robótica autopropulsada que podría ayudar a los bomberos humanos al moverse en entornos peligrosos con la agilidad de una serpiente [10]. Este robot articulado modular tenía una longitud de 3 m, pesaba 75 kg,

tenía 20 grados de libertad (dof) y fue accionado por 20 cilindros hidráulicos accionados por agua.



*Figura 3. The Anna Konda fire-fighting robot [4].*

### 3.2.2.3 "PIKO" y "PNEUMOSNAKE".

Es un robot de serpiente más complejo, surgido del desarrollo paulatino de robots como el "Pneumosnake", cuya actuación conjunta se basa en fuelles neumáticos, o como el "Aiko", el cual se desarrolló en base a la utilización de motores de corriente continua; es destinado principalmente a la inspección de tuberías que comprende una serie de módulos accionados por ruedas motorizadas accionadas por engranajes [10]. Tiene ocho grados de libertad (dof) y es capaz de moverse a través de estructuras de tuberías horizontales y verticales y el primer módulo, o cabezal, está equipado con una cámara tridimensional (3D).



*Figura 4. The Pneumosnake robot [10].*

#### 3.2.2.4 "MAMBA" ROBOT

Otro desarrollo es el robot "Mamba" que presenta varios tipos diferentes de módulos que se pueden organizar en una variedad de configuraciones basadas en la aplicación prevista. Todos los módulos son herméticos, lo que permitirá que cualquier configuración del robot funcione bajo el agua. También tiene un sistema de sensor novedoso que puede medir con precisión las fuerzas de contacto que actúan sobre él, lo que permitirá la demostración de la locomoción adaptativa del robot de serpiente en situaciones al aire libre.

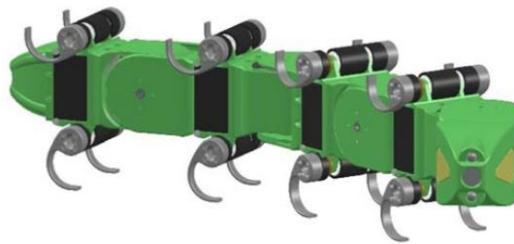


Figura 5. The Mamba robot [10].

#### 3.2.3 SISTEMAS SENSORIALES APLICADOS EN SISTEMAS MÓVILES:

Los sistemas de sensado tienen una funcionalidad general, esto en relación a la variable de medición, para ello se especifica la funcionalidad de cada tipo de sensor mostrados a continuación:

##### **Sensores de temperatura:**

Detecta la temperatura del agua a través de una sonda termo resistiva cuya resistencia aumenta con el calor transferido desde la fuente acuática. La calibración de este sensor es de vital importancia, ya que afectaría la medición de algunos parámetros secundarios [7].

##### **Sensores de pH:**

Mide la tensión de salida de un electrodo debido a la actividad de iones de hidrógeno en el agua, que luego puede traducirse en el valor de pH de acuerdo con la concentración de iones de hidrógeno [7].

##### **Oxígeno Disuelto:**

Mide la tensión de salida del sensor con un ánodo y un cátodo, que es proporcional a la concentración de oxígeno disuelto en el agua [7].

La implementación de cada uno de los sensores elegidos, se realiza mediante módulos o sistemas de navegación.

Un ejemplo claro es una plataforma denominada nodo de sensor móvil desarrollada en 2017; en la cual se implementan los sensores de tal forma que estos queden en contacto con el agua para poder determinar los valores correspondientes a cada parámetro, de igual forma la plataforma cuenta con un sistema de navegación [7] el cual permite a los usuarios controlar de forma remota la posición de la plataforma robótica en relación al cuerpo hídrico en cuestión.

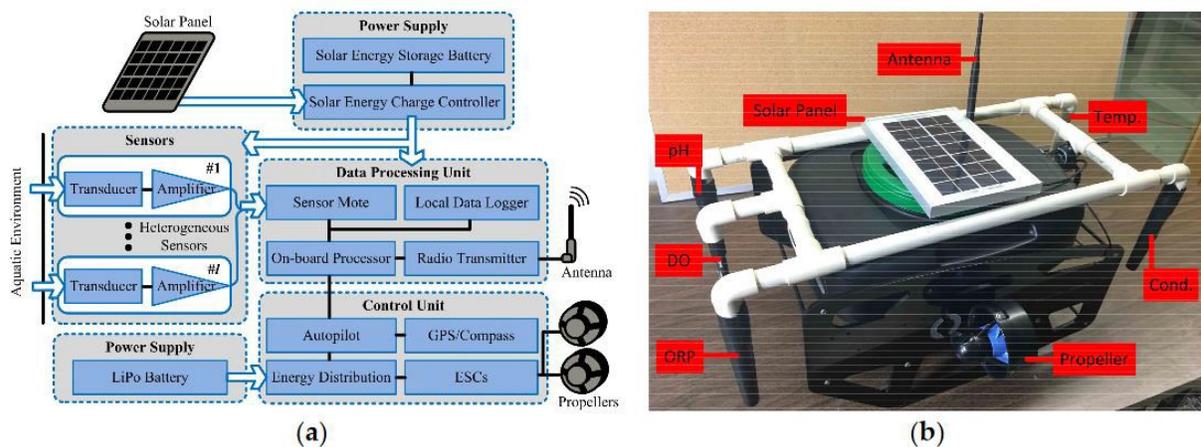


Figura 6. Diseño y prototipo del "Mobile Sensor Nodes (MSN)". [7].

### 3.2.4 SISTEMAS DE COMUNICACIONES SUBACUÁTICOS:

Las redes de comunicaciones inalámbricas subacuáticas (UWCN) están constituidas por dispositivos tales como sensores y vehículos autónomos subacuáticos (UAV) que interactúan entre sí para realizar aplicaciones submarinas específicas. Estas actividades subacuáticas han sido de gran interés para el ejército, la industria y la comunidad científica, ya que desempeña un papel importante en la vigilancia táctica, el control de la contaminación, exploraciones marinas, monitoreo del cambio climático y la investigación oceanográfica. Dentro de las principales tecnologías para dicha comunicación se encuentra la tecnología óptica, acústica y

la radiofrecuencia, sin embargo, las tres técnicas presentan limitaciones debido a las propiedades de las señales y la amplia gama de factores físicos que se presentan en diferentes tipos de ambientes subacuáticos.

*Tabla 2. Comparativa de diferentes tecnologías subacuáticas. [14].*

Parameters	Acoustic	RF	Optical
Attenuation	Distance and frequency dependent (0.1 - 4 dB/km) [12]	Frequency and conductivity dependent (3.5 - 5 dB/m) [13]	0.39 dB/m (ocean) - 11 dB/m (turbid) [14]
Speed (m/s)	1500 m/s	$\approx 2.255 \times 10^8$	$\approx 2.255 \times 10^8$
Data rate	~ kbps	~ Mbps	~ Gbps
Latency	High	Moderate	Low
Distance	up to kms	up to $\approx 10$ meters	$\approx 10 - 100$ meters
Bandwidth	Distance dependent [8]: 1000 km < 1kHz 1 - 10 km $\approx 10$ kHz < 100 m $\approx 100$ kHz	$\approx$ MHz	10 - 150 MHz
Frequency band	10 - 15 kHz	30 - 300 Hz (ELF) (for direct underwater communication system) or MHz (for buoyant communication system)	$10^{12} - 10^{15}$ Hz
Transmission power	tens of Watts (typical value)	few mW to hundreds of Watts (distance dependent)	Few Watts
Antenna size	0.1 m	0.5 m	0.1 m
Efficiency	$\approx 100$ bits/Joules		$\approx 30,000$ bits/Joules
Performance parameters	Temperature, salinity and pressure	Conductivity and permittivity	Absorption, scattering/turbidity, organic matter

Actualmente la tecnología de comunicación subacuática más utilizada es la tecnología acústica para realizar la comunicación inalámbrica, sin embargo, este representa un reto alto debido a que posee un ancho de banda limitado, la propagación en trayectos múltiples que se presentan debido a la refracción y la reflexión, las altas pérdidas de transmisión, la alta latencia y la dispersión Doppler. En cuanto a los sistemas ópticos subacuáticos, el mayor problema que presenta es que está limitada a distancias cortas, debido a que la luz en el agua se atenúa rápidamente debido a la retro dispersión. Las ondas electromagnéticas en frecuencias de RF son una buena opción para la transmisión de datos en cortas distancias, sin embargo, la velocidad de propagación va a depender netamente de las propiedades del agua como lo es la conductividad, permeabilidad, permitividad y densidad. [8][9].

En la mayoría de los casos, la utilización de módulos que operan en la banda de frecuencias ISB (2.404-2,480 GHz) presentan problemas de comunicación, esto es debido a la capacidad de absorción de altas frecuencias que posee el agua gracias a los enlaces de hidrógeno presentes en este fluido [14].

## 4 GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. **pH:** Unidad de medición relacionada con la concentración de iones de hidrógeno, permitiendo medir la acidez o la basicidad de un líquido.
2. **Temperatura:** Es una magnitud física que permite medir la sensación relacionada de calor y frío.
3. **Profundidad:** Distancia de un elemento con respecto a un plano horizontal de referencia.
4. **Oxígeno disuelto (O.D):** El análisis del oxígeno disuelto, mide la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en una solución acuosa.
5. **Conductividad:** Parámetro físico que permite medir si una sustancia puede o no conducir o transmitir calor, electricidad o sonido.
6. **Boya:** Objeto flotante que ayuda a la localización del robot y la comunicación con la interfaz
7. **Bioinspirado:** Son sistemas contruidos por hardware y sistemas electrónicos que emulan la forma de actuar de sistemas biológicos.
8. **Calidad del agua:** Se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas de un cuerpo hídrico.
9. **Inalámbrico:** Conexión entre nodos que se da por medio de ondas electromagnéticas sin necesidad de una red cableada.

## 5 OBJETIVOS:

### 5.1 General

Diseñar, implementar y probar un módulo sumergible adaptable a un sistema robótico bioinspirado en una serpiente, para la medición del pH, temperatura, nivel de oxígeno disuelto, profundidad, conductividad y toma de muestras del agua.

## 5.2 *Específicos*

1. Seleccionar e implementar el sistema sensorial de inspección bajo el agua (profundidad, temperatura, pH, nivel de oxígeno disuelto y conductividad).
2. Diseñar un sistema (on-board) para medición y toma de muestras de agua a diferentes profundidades.
3. Diseñar una etapa de comunicación para la transmisión de datos desde el robot a la interfaz del usuario.
4. Realizar una interfaz para visualización de datos.
5. Realizar el plan de pruebas de los módulos de medición y toma de muestras del Snake Robot.
6. Implementar el prototipo de los módulos desarrollados en el Snake Robot.
7. Realizar el manual de funcionamiento de los módulos de medición y toma de muestras del Snake Robot.
8. Realizar pruebas de laboratorio.

## **6 REQUERIMIENTOS**

### 6.1 *Funcionales*

1. El sistema debe operar bajo el agua con una profundidad máxima de 2 metros.
2. El sistema debe tomar 5 muestras de agua que deben ser a partir de una orden remota dada por el usuario. Cada muestra de agua debe ser de 100 ml.
3. El sistema debe medir un pH entre 5 y 9.
4. El sistema debe medir una temperatura entre 4°C y 25°C.
5. El sistema debe medir un nivel de oxígeno disuelto entre 0 y 12 mg/L.
6. El sistema debe medir un nivel de conductividad entre 15a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$
7. El área de sección transversal de cada módulo es de forma cilíndrica.
8. Los tiempos de respuesta de los sensores de ph y nivel de oxigenación deben ser menores a 2 s.

9. Los tiempos de respuesta del sensor de temperatura deben ser menores a 20 s.
10. Los tiempos de respuesta del sensor de profundidad ser menores a 1 seg.
11. Los tiempos de respuesta del sensor de conductividad deben ser menores a 3 seg.
12. El módulo de comunicación deberá trabajar en un rango de 0 a 10 metros.
13. El sistema tendrá una autonomía mínima de 1 hora.
14. La transmisión de datos será de forma inalámbrica.

## 6.2 *De calidad*

1. La resolución mínima permitida para el sensor de pH debe ser de +/- 0.0001.
2. La precisión para el sensor de temperatura debe ser de +/- 0.05°C.
3. La precisión para el sensor de profundidad debe ser de +/- 10 cm.
4. La precisión para el sensor de nivel de oxigenación debe ser de +/- 0.05 mg/l.
5. La precisión para el sensor de conductividad debe ser de +/- 2%.
6. Cada sensor debe trabajar en contacto con el agua.

## 6.3 *Restrictivos*

1. El sistema debe ser adaptable de forma pasiva al Snake robot como módulos adicionales.
2. Cada módulo en que se subdivide el sistema no puede pesar más de 4 kg.
3. Los módulos deberán tener las mínimas longitudes y diámetros en función a los componentes y baterías necesarios.
4. La prueba de laboratorio, se realizarán en un ambiente controlado; donde los parámetros físico-químicos estén dentro de los rangos medidos y analizados en el estudio realizado por la alcaldía mayor de Bogotá "IX fase del programa de seguimiento y monitoreo de efluentes industriales y afluentes al recurso hídrico de Bogotá", realizada

en 2010; a continuación, se adjunta el link del documento ubicado en nuestro árbol de documentación.

[https://drive.google.com/file/d/151H8Mt9fnaT9c\\_myzvmZOHfst2Rs7Bxo/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/151H8Mt9fnaT9c_myzvmZOHfst2Rs7Bxo/view?usp=sharing)

## 7 DISEÑO FUNCIONAL

### 7.1 Cajas con entradas y salidas de cada sistema propuesto.

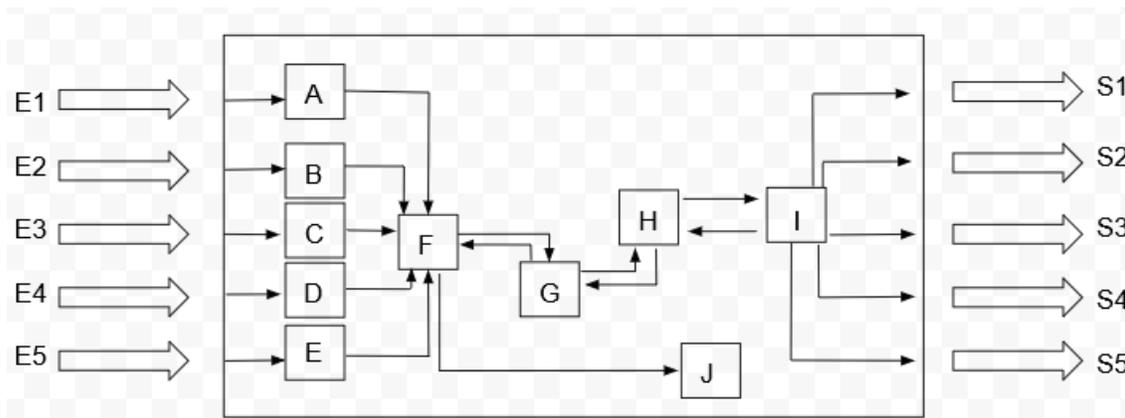


Figura 7. Diseño funcional 1, Módulo de medición y toma de muestras "Snake Robot".

E1: Parámetro pH del agua que se encuentra entre 5 y 9.

E2: Parámetro oxígeno disuelto en el agua se encuentra valores entre 0 y 12 mg/l.

E3: Parámetro temperatura del agua que se encuentra entre valores de 4 y 25°C.

E4: Parámetro profundidad del agua valores entre 0 y 2m.

E5: Parámetro conductividad del agua valores entre 15a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

S1: Cuantificación del parámetro pH entre 5 y 9 +/- 0.0001.

S2: Cuantificación del parámetro oxígeno disuelto entre 0 y 12 +/- 0.05 mg/l .

S3: Cuantificación del parámetro de la temperatura entre 4 y 25°C +/- 0.05°C.

S4: Cuantificación del parámetro de profundidad entre 0 y 2m +/- 10 cm.

S5: Cuantificación del parámetro de conductividad del agua entre 15a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  +/- 2%.

La primera propuesta de diseño consiste en realizar el acondicionamiento de señales, procesamientos de datos y transmisión inalámbrica de variables para la determinación de los

parámetros de calidad del agua. Para la implementación del módulo de medición y toma de muestras se ha estipulado el desarrollo de 10 subsistemas. El subsistema A permite el sensado del parámetro de pH; de acuerdo al requerimiento funcional, debe permitir la medición entre 5 y 9 unidades, su salida luego de realizar el acondicionamiento de la señal produce datos en formato ASCII que serán transmitidos de forma secuencial, esto se realizará con la implementación de un sistema on-board suministrado por el fabricante del sensor cumpliendo estándares especializados al sensor escogido. El subsistema B permite el sensado del parámetro oxígeno disuelto del agua; de acuerdo a unos de los requerimientos funcionales, debe permitir la medición entre 0 y 12 mg/l, su salida luego de realizar el acondicionamiento de la señal produce un dato en formato ASCII transmitido en forma secuencial, esto se realizará con la implementación de un sistema on-board suministrado por el fabricante del sensor cumpliendo estándares especializados al sensor escogido. El subsistema C permite el sensado del parámetro de temperatura del agua; de acuerdo a unos de los requerimientos funcionales, debe permitir la medición entre 4°C y 25°C, su salida luego de realizar el acondicionamiento debe ser un voltaje entre 0 y 5V. El subsistema D permite el sensado del parámetro de profundidad entre 0 m y 2 m, su salida es un voltaje entre 0 y 5V. El subsistema E permite el sensado del parámetro de la conductividad del agua, permitiendo la medición entre valores de 15a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , de acuerdo a unos de los requerimientos funcionales; su salida es un dato en formato ASCII transmitido en forma secuencial, esto se realizará con la implementación de un sistema on-board suministrado por el fabricante del sensor cumpliendo estándares especializados al sensor escogido.

El subsistema F permite la lectura y conversión de los parámetros del agua medidos a valores cuantificados, esto en función de un microcontrolador; 4 de sus entradas son datos en formato ASCII transmitidos en forma secuencial, obtenidos de las salidas de los subsistemas A, B, C y E; la otra entrada de este subsistema es la lectura y conversión respectiva del dato entregado por el sensor que se utilice en el subsistema D, para la detección del parámetro de profundidad.

El subsistema G permite la comunicación inalámbrica bidireccional de los datos cuantificados obtenidos del subsistema F (pH, nivel de oxigenación, temperatura y profundidad) al subsistema H que se encuentra en la superficie conectado junto al pc de la interfaz. El subsistema H, se encarga de la lectura de datos del sistema G y enviarlos al

subsistema I para la visualización de los datos cuantificados de la medición de los parámetros, a su vez permite transmitir datos del subsistema I al subsistema G. El subsistema J permite la activación de un sistema mecánico para la recolección de muestras mediante un voltaje de entrada obtenido por el subsistema F al comparar el dato correspondiente a la profundidad generada en el subsistema I y la conversión interna relacionada con la salida del subsistema D.

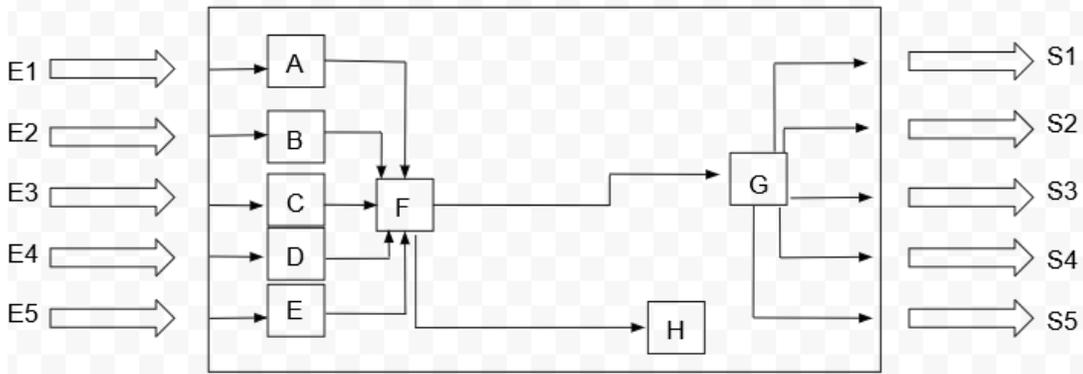


Figura 8. Diseño funcional 2, Módulo de medición y toma de muestras "Snake Robot".

E1: Parámetro pH del agua que se encuentra entre 5 y 9.

E2: Parámetro oxígeno disuelto en el agua se encuentra valores entre 0 y 12 mg/l.

E3: Parámetro temperatura del agua que se encuentra entre valores de 4 y 25°C.

E4: Parámetro profundidad del agua valores entre 0 y 2m.

E5: Parámetro conductividad del agua valores entre 15a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

S1: Cuantificación del parámetro pH entre 5 y 9 +/- 0.0001.

S2: Cuantificación del parámetro oxígeno disuelto entre 0 y 12 +/- 0.05 mg/l .

S3: Cuantificación del parámetro de la temperatura entre 4 y 25°C +/- 0.05°C.

S4: Cuantificación del parámetro de profundidad entre 0 y 2m +/- 10 cm.

S5: Cuantificación del parámetro de conductividad del agua entre 15a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  +/- 2%.

La segunda propuesta de diseño consiste en realizar el acondicionamiento de señales, procesamientos de datos y transmisión alámbrica de variables para la determinación de los parámetros de calidad del agua. Para la implementación del módulo de medición y toma de muestras se ha estipulado el desarrollo de 8 subsistemas. El subsistema A permite el sensado del parámetro de pH; de acuerdo al requerimiento funcional, debe permitir la medición entre

5 y 9, su salida luego de realizar el acondicionamiento de la señal produce datos en formato ASCII que serán transmitidos de forma secuencial, esto se realizará con la implementación de un sistema on-board suministrado por el fabricante del sensor cumpliendo estándares especializados al sensor escogido. El subsistema B permite el sensado del parámetro oxígeno disuelto del agua; de acuerdo a unos de los requerimientos funcionales, debe permitir la medición entre 0 y 12 mg/l, su salida luego de realizar el acondicionamiento de la señal produce un dato en formato ASCII transmitido en forma secuencial, esto se realizará con la implementación de un sistema on-board suministrado por el fabricante del sensor cumpliendo estándares especializados al sensor escogido. El subsistema C permite el sensado del parámetro de temperatura del agua; de acuerdo a unos de los requerimientos funcionales, debe permitir la medición entre 4°C y 25°C, su salida luego de realizar el acondicionamiento debe ser un voltaje entre 0 y 5V. El subsistema D permite el sensado del parámetro de profundidad entre 0 m y 2 m, su salida es un voltaje entre 0 y 5V. El subsistema E permite el sensado del parámetro de la conductividad del agua, permitiendo la medición entre valores de 15a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , de acuerdo a unos de los requerimientos funcionales; su salida es un dato en formato ASCII transmitido en forma secuencial, esto se realizará con la implementación de un sistema on-board suministrado por el fabricante del sensor cumpliendo estándares especializados al sensor escogido.

El subsistema F permite la lectura y conversión de los parámetros del agua medidos a valores cuantificados, esto en función de un microcontrolador; 4 de sus entradas son datos en formato ASCII transmitidos en forma secuencial, obtenidos de las salidas de los subsistemas A, B, C y E; la otra entrada de este subsistema es la lectura y conversión respectiva del dato entregado por el sensor que se utilice en el subsistema D, para la detección del parámetro de profundidad. Este subsistema estará programado para realizar la lectura de dichos parámetros cada determinada profundidad previamente programadas en el microcontrolador y ser almacenados en la memoria. El subsistema permite entregar un voltaje de 5V al subsistema H, necesario para la activación mecánica encargada de recolectar las 5 muestras de agua.

El subsistema G permite mediante una conexión directa del subsistema F (microcontrolador), la visualización de cada una de los parámetros previamente censados y guardados; en una interfaz gráfica.

## 7.2 Selección de alternativa

Como conclusión se selecciona el diseño funcional 1. Dado que por requerimiento funcional la comunicación debe ser de forma inalámbrica. Por lo tanto, los subsistemas G y H del diseño funcional 1, son indispensables para el total desarrollo de los requerimientos del sistema.

# 8 DISEÑO DETALLADO

## 8.1 Requerimientos de subsistemas

### 8.1.1 Requerimientos del subsistema A.

En la siguiente figura los requerimientos del subsistema A se dan en términos de entradas y salidas.

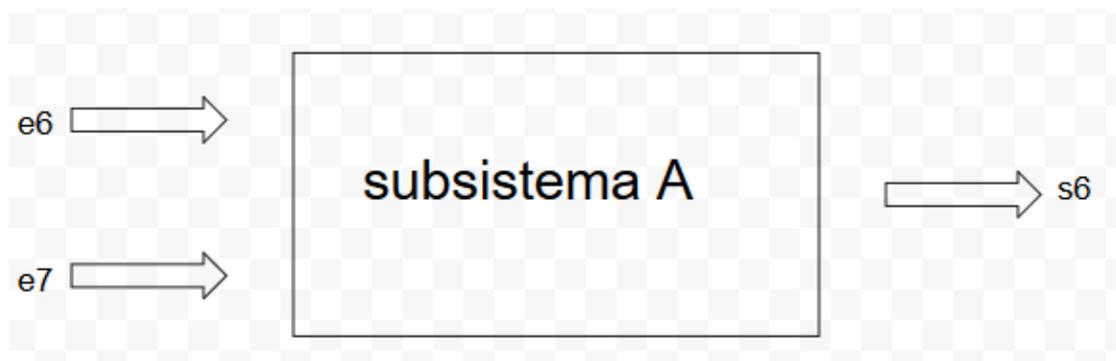


Figura 9. Diseño subsistema A, medición y acondicionador del parámetro PH.

e6: Parámetro de pH, valores entre 5-9, obtenidos del cuerpo hídrico.

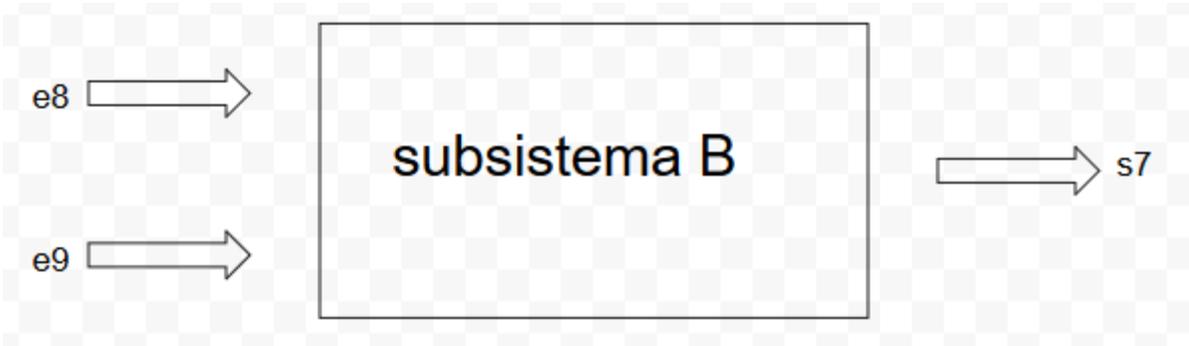
e7: Polarización 5V +/- 10%.

s6: Valor de pH, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-40 caracteres).
- Unidades=pH.
- Tipo de Dato =punto flotante.

### 8.1.2 Requerimientos del subsistema B.

En la siguiente figura los requerimientos del subsistema B se dan en términos de entradas y salidas.



*Figura 10. Diseño subsistema B, medición del parámetro Oxígeno Disuelto (DO).*

e8: Parámetro de nivel de oxígeno disuelto, valores entre 0 y 12 mg/l, obtenidos del cuerpo hídrico.

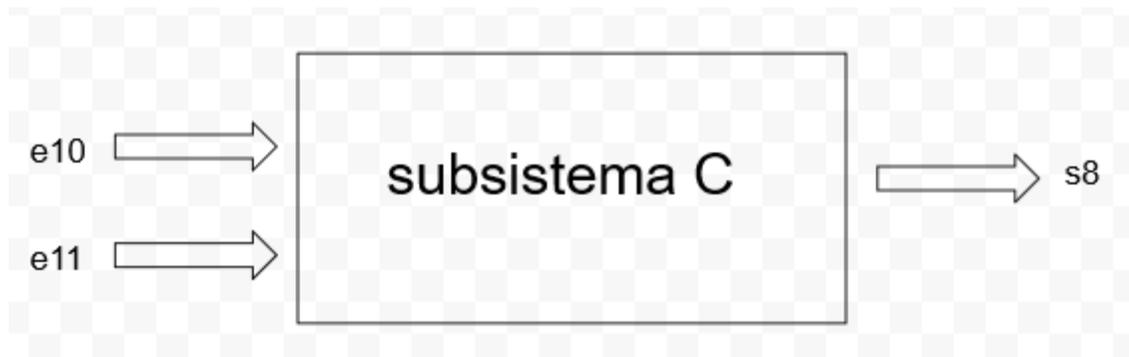
e9: Polarización 5V +/- 10%.

s7: Valor de nivel de oxígeno disuelto, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-16 caracteres).
- Unidades=mg/l .
- Tipo de Dato =punto flotante.

### 8.1.3 Requerimientos del subsistema C.

En la siguiente figura los requerimientos del subsistema C se dan en términos de entradas y salidas.



*Figura 11. Diseño subsistema C, medición del parámetro Temperatura.*

e10: Parámetro de temperatura, valores entre 4°C y 25°C, obtenidos del cuerpo hídrico.

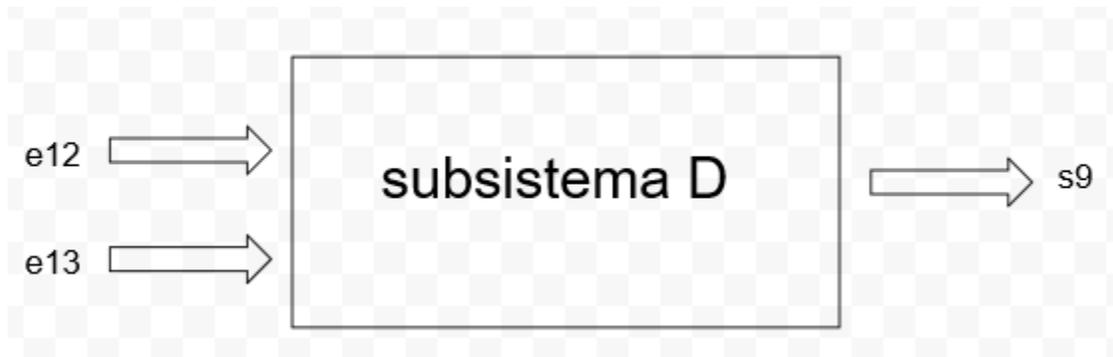
e11: Polarización 5V +/- 10%.

s8: Valor de temperatura, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-399 caracteres).
- Unidades=°C.
- Tipo de Dato =punto flotante

#### 8.1.4 Requerimientos del subsistema D.

En la siguiente figura los requerimientos del subsistema D se dan en términos de entradas y salidas.



*Figura 12. Diseño subsistema D , Medición del parámetro Profundidad.*

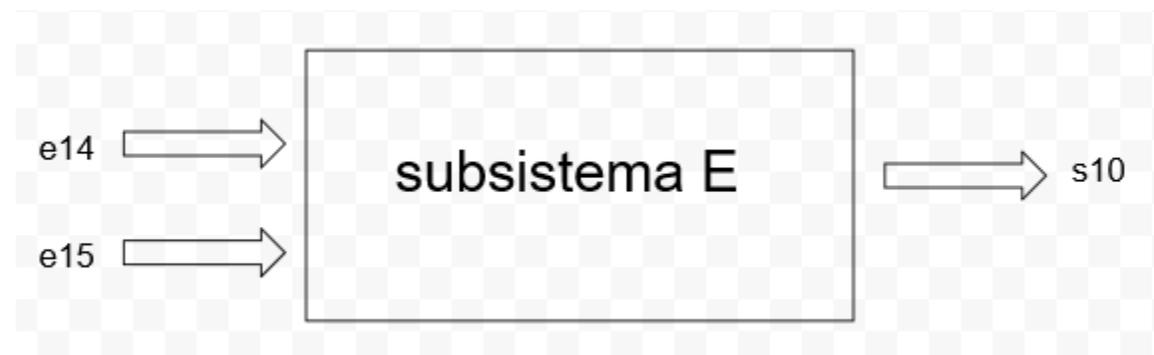
e12: Parámetro de profundidad, valores entre 0 y 2m, obtenidos del cuerpo hídrico.

e13: Polarización 5V +/- 10%.

s9: Voltaje entre los 0 y 5V.

#### 8.1.5 Requerimientos del subsistema E.

En la siguiente figura los requerimientos del subsistema E se dan en términos de entradas y salidas.



*Figura 13. Diseño subsistema E , medición del parámetro conductividad.*

e14: Parámetro de conductividad, valores entre 15 y 1500 $\mu$ S/cm, obtenidos del cuerpo hídrico.

e15: Polarización 5V +/- 10%.

s10: Valor de conductividad, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (3-40 caracteres).
- Unidades= $\mu$ S/cm.
- Tipo de Dato =punto flotante.

#### 8.1.6 Requerimientos del subsistema F.

En la siguiente figura los requerimientos del subsistema F se dan en términos de entradas y salidas.

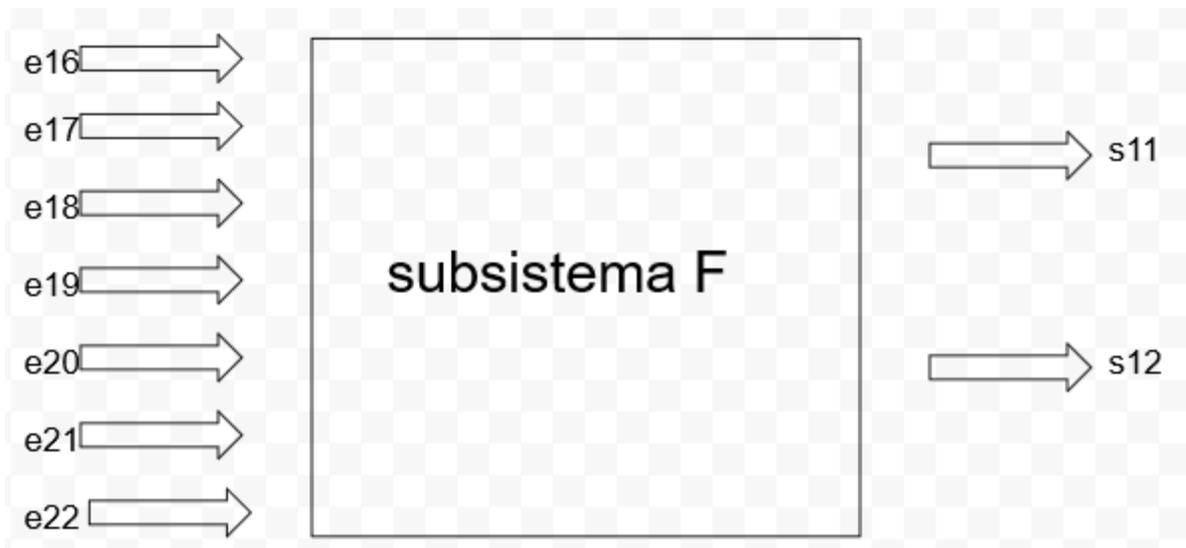


Figura 14. Diseño subsistema F, Microcontrolador

e16: Valor de pH, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-40 caracteres).
- Unidades=pH.
- Tipo de Dato =punto flotante.

e17: Valor de nivel de oxígeno disuelto, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-16 caracteres).
- Unidades=mg/l .
- Tipo de Dato =punto flotante.

e18: Valor de temperatura, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-399 caracteres).
- Unidades= $^{\circ}\text{C}$ .
- Tipo de Dato =punto flotante.

e19: Valor de presión hidrostática en Kpa, correlacionado en voltajes entre 0 y 5V +/- 5%.

e20: Valor de conductividad, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (3-40 caracteres).
- Unidades= $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Tipo de Dato =punto flotante.

e21: Profundidad de usuario ingresada en la interfaz, codificación ASCII, String

- Dato= String (4-16 caracteres).
- Unidades=bar.
- Tipo de Dato =punto flotante.

e22: Polarización 5V +/- 10%.

s11: Bits con codificación ASCII, formato string de las lecturas de las 5 variables.

s12: Salida digital (0v - 5v) +/-10%.

### 8.1.7 Requerimientos del subsistema G.

En la siguiente figura los requerimientos del subsistema G se dan en términos de entradas y salidas.

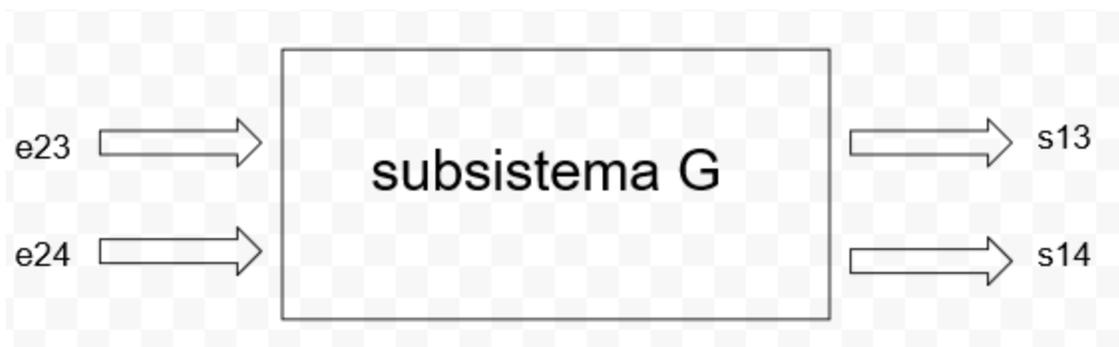


Figura 15. Diseño subsistema G, sistema de transmisión-recepción de datos.

e23: Bits con codificación ASCII, formato string de la lectura de las 5 variables entregadas desde el microcontrolador.

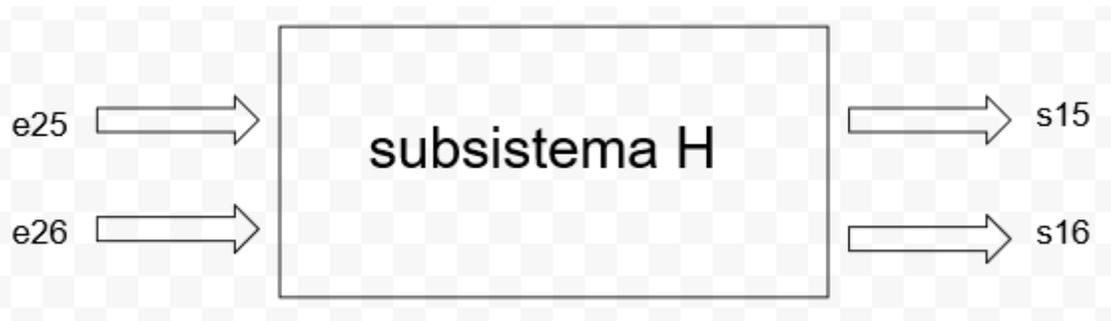
e24: Recepción del paquete de bits con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string; enviado desde el transmisor de la interfaz de usuario a una distancia máxima de 10 m.

s13: Envío de paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string de la lectura de las 5 variables entregadas desde el microcontrolador a una distancia máxima de 10m.

s14: Paquetes de bits de-modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string de la lectura de la variable entregada desde la interfaz de usuario correspondiente a la profundidad deseada.

### 8.1.8 Requerimientos del subsistema H.

En la siguiente figura los requerimientos del subsistema H se dan en términos de entradas y salidas.



*Figura 16. Diseño subsistema H, sistema de recepción-transmisión de datos.*

e25: Recepción de los paquetes de bits modulados con una velocidad mayor a 1 Kbps, con codificación ASCII, formato string de la lectura de las 5 variables entregadas desde el microcontrolador a una distancia de 10 m.

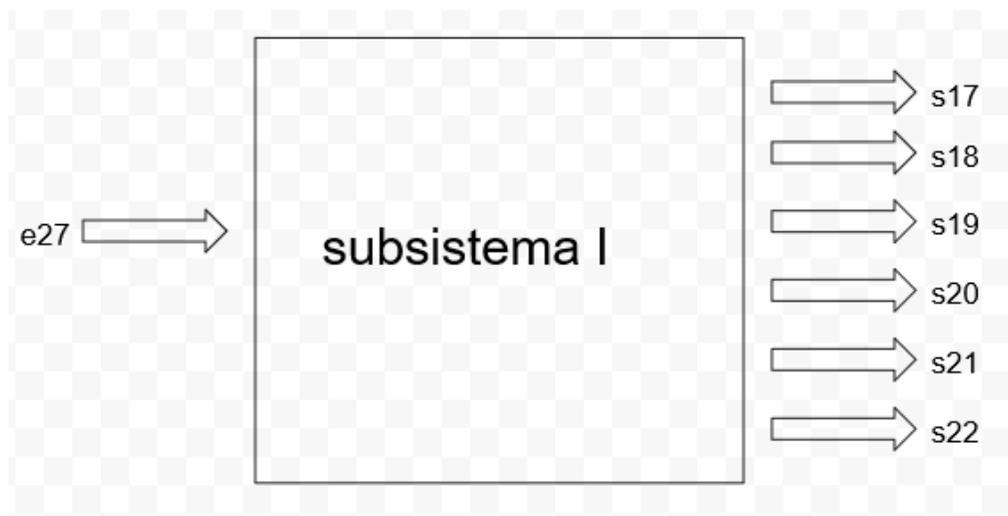
e26: Recepción del bit con codificación ASCII, formato string enviado desde la interfaz de usuario correspondiente a la profundidad deseada.

s15: Paquetes de bits modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string de la lectura de las 5 variables entregadas desde el transmisor del módulo de medición.

s16: Paquetes de bits de-modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string de la lectura de la variable entregada desde la interfaz de usuario correspondiente a la profundidad deseada.

### 8.1.9 Requerimientos del subsistema I.

En la siguiente figura los requerimientos del subsistema H se dan en términos de entradas y salidas.



*Figura 17. Diseño subsistema I, sistema de Interfaz Gráfica de Usuario (GUI).*

e27: Paquetes de bits de-modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string de la lectura de las 5 variables entregadas desde el transmisor del módulo de medición.

s17: Valor cuantificado del pH entre 5 y 9 +/- 0.0001 en formato String punto flotante.

s18: Valor cuantificado del nivel de oxígeno disuelto entre 0 y 12 mg/l +/- 0.05 mg/l en formato String punto flotante.

s19: Valor cuantificado de la temperatura entre 4°C y 25°C +/- 0.05°C en formato String punto flotante.

s20: Valor cuantificado de la profundidad entre 0 y 2m +/- 10cm en formato String punto flotante.

s21: Valor cuantificado la conductividad entre 15a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  +/-2% en formato String punto flotante.

s22: Paquetes de bits, con codificación ASCII, formato string de la lectura de la variable entregada desde la interfaz de usuario correspondiente a la profundidad deseada.

### 8.1.10 Requerimientos del subsistema J.

En la siguiente figura los requerimientos del subsistema J se dan en términos de entradas y salidas.

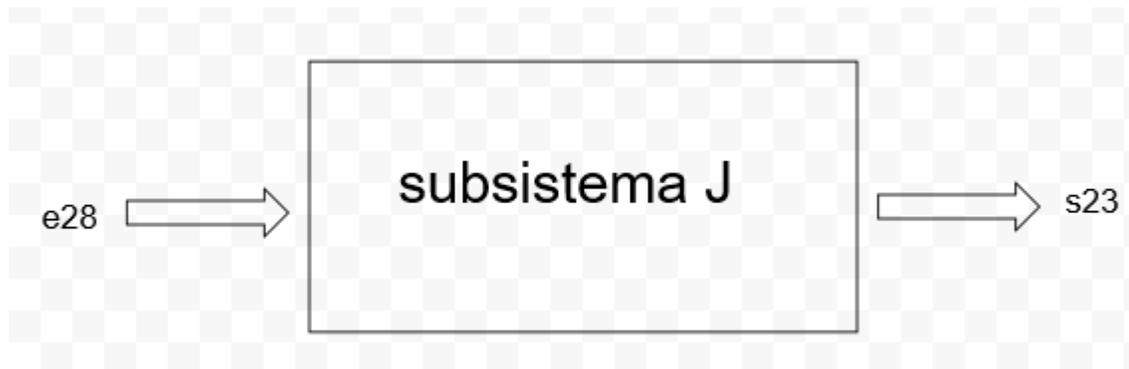


Figura 18. Diseño subsistema J, Sistema de toma de muestras.

e28: Entrada digital (0 o 5V) +/-10%.

s23: 5 muestras de agua de 100ml.

## 8.2 Requerimientos de componentes.

### 8.2.1 Diseño funcional del subsistema A.

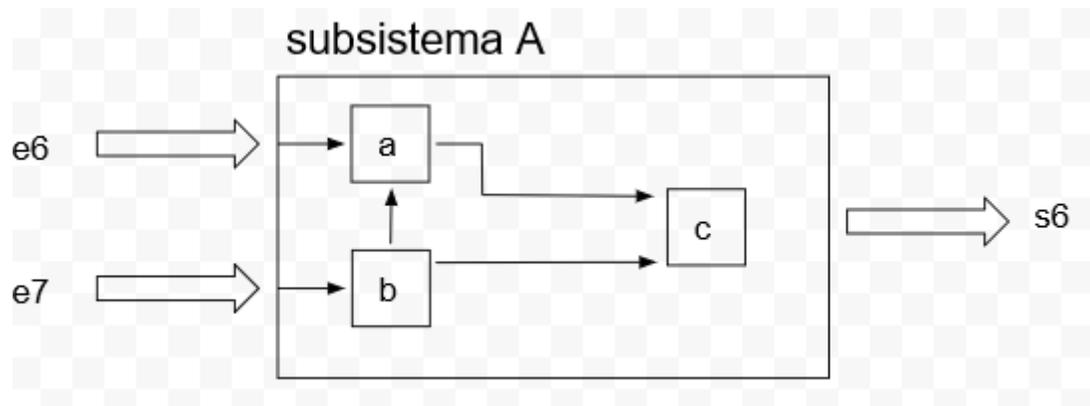


Figura 19. Diseño funcional del subsistema A, el subsistema tiene 3 componentes.

Según la figura 21 el subsistema a cuenta con tres componentes, el componente b corresponde a la polarización del subsistema, el componente a se encarga del sensado del parámetro del pH, el componente c se encarga del acondicionamiento de la señal entregada por el sensor.

Requerimientos componente sensor de pH.

**Componente a:** sensor de pH.

**e6a:** Parámetro de pH, valores entre 5-9, obtenidos del cuerpo hídrico.

**e7a:** Polarización 5V +/- 10%.

**s6a:** Salidas analógicas proporcionales al nivel de concentración de iones de hidrógeno.

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente a.

Tabla 3. Selección del componente a.

<b>SELECCIÓN DE COMPONENTE a</b>			
<b>ENTRADAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>Industrial ph probe de Atlas Scientific</i></b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Gravity Analog Spear Tip ph Sensor /meter kit</i></b>
e6a	ph 5-9	ph 0-14	ph 0-10
e7a	Polarización 5V +/- 10%	Polarización 3.3V-5V	Polarización 5V
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>Industrial ph</i></b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Gravity Analog</i></b>

		<b>probe de Atlas Scientific</b>	<b>Spear Tip ph Sensor /meter kit</b>
s6a	Salidas analógicas proporcionales al nivel de concentración de iones de hidrógeno.	(20-40 $\mu$ A) Tiempo de respuesta de 1s.	Voltajes (-117 mV-414.12 mV)  Tiempo de respuesta $\leq$ 2min

Según la tabla 1, se elige el componente 1, sensor de pH "Industrial Ph probe" del proveedor de Atlas Scientific como integración tecnológica, debido a que el sensor "Industrial PH probe" cumple las especificaciones necesarias frente a los requerimientos levantados, no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del sensor.

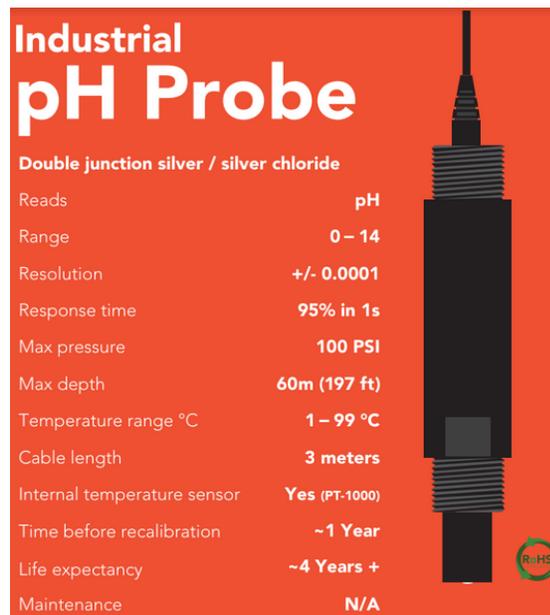


Figura 20. Hoja Técnica de sensor de PH (Industrial PH Probe).

Requerimientos componente acondicionador sensor de ph.

**Componente c:** circuito acondicionador del sensor de ph.

**e6b:** Entradas analógicas proporcionales al nivel de concentración de iones de hidrógeno.

**e7b:** Polarización 5V +/- 10%.

**s6b:** Valor de pH, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-40 caracteres).
- Unidades=pH.
- Tipo de Dato =punto flotante.

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente b relacionados con interferencias iso-eléctricas.

Tabla 4. Selección del componente c.

<b>SELECCIÓN DE COMPONENTE c</b>			
<b>ENTRADAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>Ezo Embedded ph circuit de Atlas de Atlas Scientific</i></b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>ph meter v1.1</i></b>
e6b	Entradas analógicas proporcionales al nivel de concentración de iones de hidrógeno.	(20-40 $\mu$ A)	Voltajes Voltajes (-117 mV- 414.12 mV)
e7b	Polarización 5V +/- 10%	Polarización 3.3V- 5V	Polarización 5V
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE</b>

		<b>COMPONENTE 1: <i>Ezo Embedded ph circuit de Atlas Scientific</i></b>	<b>COMPONENTE 2: <i>ph meter v1.1</i></b>
s6b	Dato codificación ASCII formato String	Dato codificación ASCII formato String con Comunicación I2c o UART	Voltaje Análogo (0 a 4V)

Según la tabla 2 se elige el componente 1, circuito acondicionador de señal de ph "Ezo Embedded ph circuit" del proveedor de Atlas Scientific como integración tecnológica, debido a que el circuito acondicionador "Ezo Embedded ph circuit" cumple las especificaciones necesarias frente a los requerimientos levantados, no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del circuito acondicionador. }

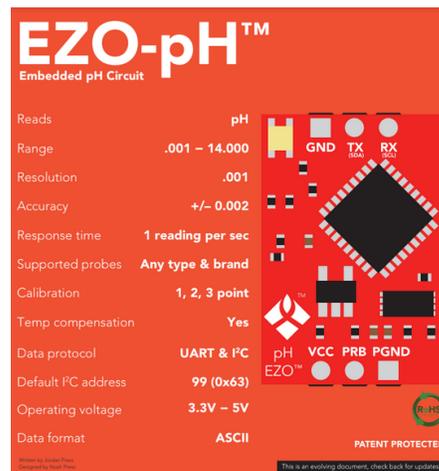


Figura 21. Hoja Técnica del circuito acondicionador de PH (Ezo Embedded ph circuit).

### 8.2.2 Diseño funcional del subsistema B.

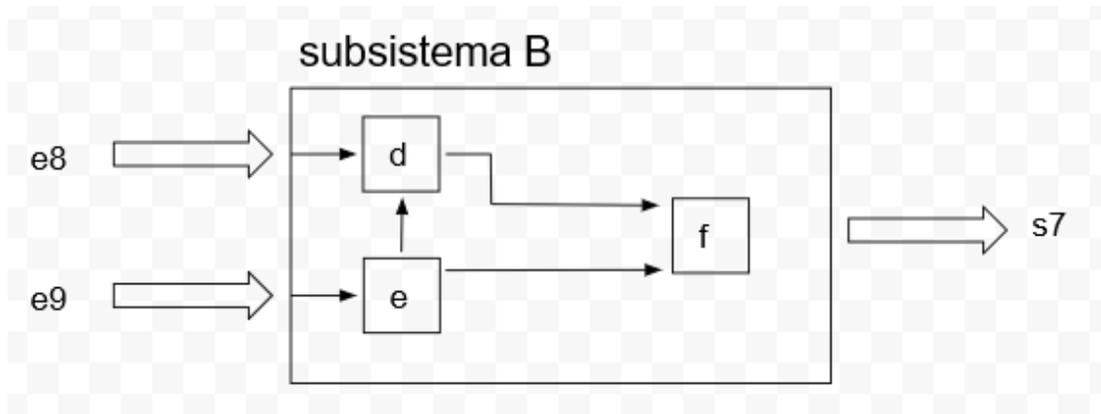


Figura 22. Diseño funcional del subsistema B, el subsistema tiene 3 componentes.

Según la figura 24 el subsistema b cuenta con tres componentes, el componente e corresponde a la polarización del subsistema, el componente d se encarga del sensado del parámetro de oxígeno disuelto, el componente f se encarga del acondicionamiento de la señal entregada por el sensor.

Requerimientos componente sensor de oxígeno disuelto.

**Componente d:** sensor de oxígeno disuelto.

**e8d:** Parámetro de oxígeno disuelto, valores entre 0 y 12 mg/l, obtenidos del cuerpo hídrico.

**e9d:** Polarización 5V +/- 10%.

**s7d:** Salidas analógicas proporcionales al nivel de saturación de oxígeno.

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente d.

Tabla 5. Selección del componente d.

<b>SELECCIÓN DE COMPONENTE d</b>
----------------------------------

<b>ENTRADAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>Dissolved Oxygen Probe de Atlas Scientific</i></b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor meter kit</i></b>
e8d	Nivel de O.D 0 - 12 mg/l	Nivel de O.D 0-100 mg/l	Nivel de O.D 0-20 mg/l
e9d	Polarización 5V +/- 10%	Polarización 3.3V-5V	Polarización 3.3V-5.5V
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE: <i>Dissolved Oxygen Probe de Atlas Scientific</i></b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE: <i>Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor meter kit</i></b>
s7d	Salidas analógicas proporcionales al nivel de saturación de oxígeno.	(0-40 mV)  Tiempo de respuesta 95% en 2s	(0-33 mV)  Tiempo de respuesta 98% en 90s

Según la tabla 3 se elige el componente 1, sensor de nivel de oxígeno disuelto "Dissolved Oxygen Probe" del proveedor de Atlas Scientific como integración tecnológica, debido a que el sensor "Dissolved Oxygen Probe" cumple las especificaciones necesarias frente a los requerimientos levantados, no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del sensor.

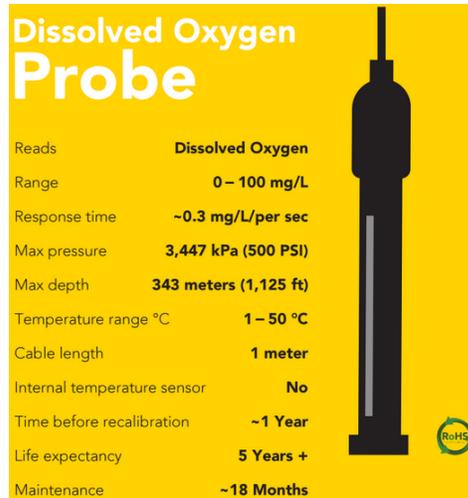


Figura 23. Hoja Técnica de sensor de Nivel de Oxigenación (Dissolved Oxygen Probe).

Requerimientos componente acondicionador sensor de nivel de oxígeno disuelto.

**Componente f:** circuito acondicionador del sensor de nivel de oxígeno disuelto.

**e8f:** Entradas analógicas proporcionales al nivel de saturación de oxígeno.

**e9f:** Polarización 5V +/- 10%.

**s7f:** Valor de oxígeno disuelto, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-16 caracteres).
- Unidades=mg/l.
- Tipo de Dato =punto flotante.

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente f relacionados con interferencias iso-eléctricas.

Tabla 6. Selección del componente f.

SELECCIÓN DE COMPONENTE f			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENT O LEVANTADO	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>Ezo Embedded Dissolved Oxygen Circuit</i>	REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Dissolved Oxygen V1.0</i>

		<b>de Atlas Scientific</b>	
e8f	Entradas analógicas proporcionales al nivel de saturación de oxígeno.	(0-40 mV)	(0-33 mV)
e9f	Polarización 5V +/- 10%	Polarización 3.3V-5V	3.3V-5.5V
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>Ezo Embedded Dissolved Oxygen Circuit de Atlas Scientific</i></b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Ezo Embedded Dissolved Oxygen Circuit de Atlas Scientific</i></b>
s7f	Dato codificación ASCII formato String	Dato codificación ASCII formato String con Comunicación I2c o UART	Voltaje Análogo de 0-3V

Según la tabla 4 se elige el componente 1, circuito acondicionador de señal de nivel de oxígeno disuelto "Ezo Embedded Dissolved Oxygen Circuit" del proveedor de Atlas Scientific como integración tecnológica, debido a que el circuito acondicionador "Ezo Embedded Dissolved Oxygen Circuit" cumple las especificaciones necesarias frente a los requerimientos levantados, no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del circuito acondicionador.

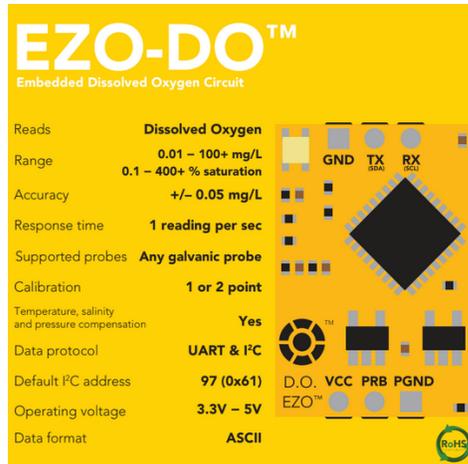


Figura 24. Hoja Técnica del circuito acondicionador de Nivel de Oxigenación.

### 8.2.3 Diseño funcional del subsistema C.

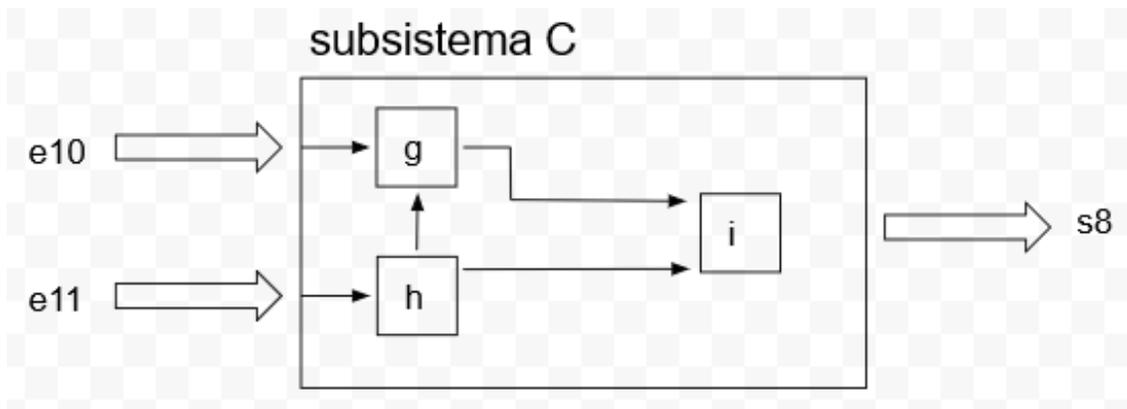


Figura 25. Diseño funcional del subsistema C.

Según la figura 27 el subsistema C cuenta con tres componentes, el componente h corresponde a la polarización del subsistema, el componente g se encarga del sensado del parámetro de temperatura, el componente i se encarga del acondicionamiento de la señal entregada por el sensor.

Requerimientos componente sensor de temperatura.

**Componente g:** sensor de temperatura.

**e10g:** Parámetro de temperatura, valores entre 14°C y 25°C, obtenidos del cuerpo hídrico.

**e11g:** Polarización 5V +/- 10%.

**s8g:** Salidas analógicas proporcionales a la temperatura.

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente g.

*Tabla 7. Selección del componente g.*

<b>SELECCIÓN DE COMPONENTE g</b>			
<b>ENTRADAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>PT-1000 de Atlas Scientific</i></b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Waterproof DS18B20 Digital Temperature Sensor</i></b>
e10g	Temperatura 14°C - 25°C	Temperatura - 200°C - 850°C	Temperatura -55°C-125°C
e11g	Polarización 5V +/- 10%	Polarización 3.3V- 5V	Polarización 3-5.5V
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>PT-1000 de Atlas Scientific</i></b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Waterproof DS18B20 Digital Temperature Sensor</i></b>
s8g	Salidas analógicas proporcionales a la temperatura.	(1- 1.385 kΩ) Tiempo de Respuesta 13s Salida análoga	Salida Digital Tiempo de respuesta de 750 ms

Según la tabla 5 se elige el componente 1, sensor de temperatura pt-1000 incluido en el sensor de pH "Industrial PH probe" del proveedor de Atlas Scientific como integración tecnológica, debido a que el sensor "Industrial PH probe" cumple las especificaciones

necesarias frente a los requerimientos levantados en relación a la temperatura, no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del sensor.

PT-1000 Temperature Probe	
Reads	Temperature
Range	-200°C to 850°C
Probe type	Class A platinum, RTD
Accuracy	+/- (0.15 + (0.002*t))
Reaction Time	90% in 13s
Cable length	81cm
Output	Analog
Time before recalibration	3-5 years
Life expectancy	15 years
Maintenance	N/A

Figura 26. Hoja Técnica de sensor de temperatura.

Requerimientos componente acondicionador sensor de temperatura.

**Componente i:** circuito acondicionador del sensor de temperatura.

**e10i:** Entradas analógicas proporcionales a la temperatura.

**e11i:** Polarización 5V +/- 10%.

**s8i:** Valor de temperatura, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-399 caracteres).
- Unidades=°C.
- Tipo de Dato =punto flotante.

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente i relacionados con interferencias iso-eléctricas.

Tabla 8. Selección del componente i.

SELECCIÓN DE COMPONENTE I			
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO		
	REQUERIMIENT	REQUERIMIENT	REQUERIMIENT

	<b>O LEVANTADO</b>	<b>O DE COMPONENTE 1: <i>Ezo Embedded Temperature Circuit de Atlas Scientific</i></b>	<b>O DE COMPONENTE 2: <i>Terminal Adapter Sensor V2.0</i></b>
e10i	Entradas analógicas proporcionales a la temperatura.	(1- 1.385 kΩ)	Salida Digital
e11i	Polarización 5V +/- 10%	Polarización 3.3V-5V	Polarización 5V
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENT O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>Ezo Embedded Temperature Circuit de Atlas Scientific</i></b>	<b>REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Terminal Adapter Sensor V2.0</i></b>
s8i	Dato codificación ASCII formato String	Dato codificación ASCII formato String con Comunicación I2c o UART	Dato codificación ASCII formato String con Comunicación I2c

Según la tabla 6 se elige el componente 1, circuito acondicionador de la señal de temperatura "Ezo Embedded Temperature Circuit" del proveedor de Atlas Scientific como integración tecnológica, debido a que el circuito acondicionador "Ezo Embedded Temperature Circuit" cumple las especificaciones necesarias frente a los requerimientos levantados, no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del circuito acondicionador.

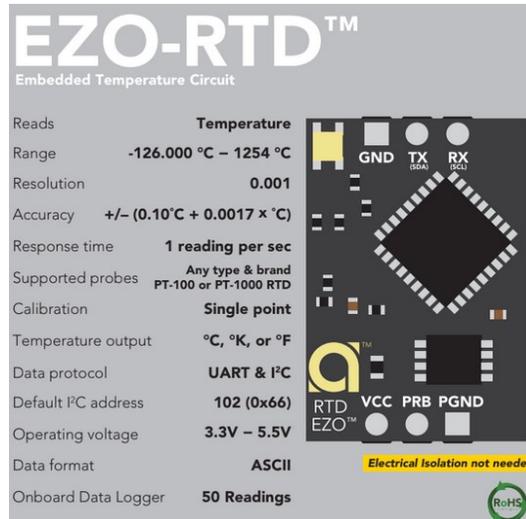


Figura 27. Hoja Técnica del circuito acondicionador del sensor de Temperatura.

#### 8.2.4 Diseño funcional del subsistema D.

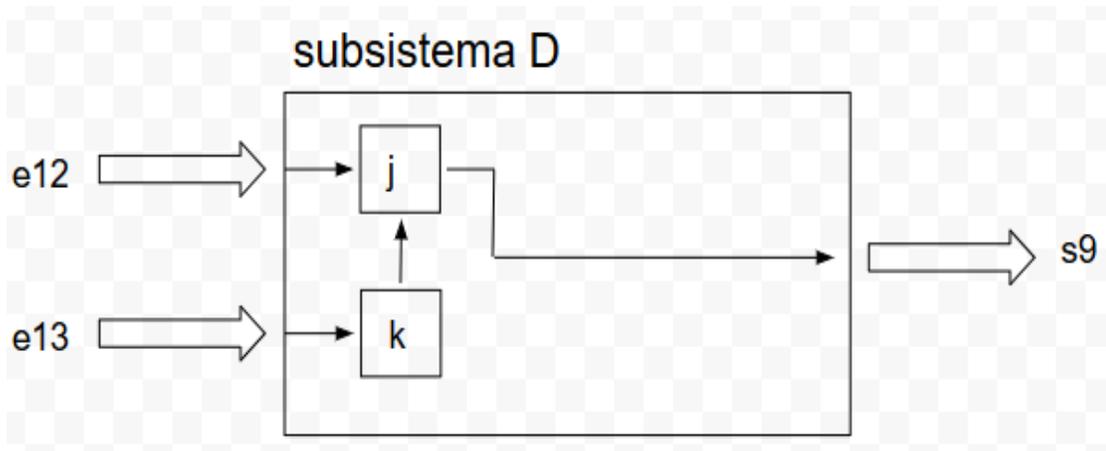


Figura 28. Diseño funcional del subsistema D, el subsistema tiene 2 componentes.

Según la figura 30 el subsistema D cuenta con dos componentes, el componente k corresponde a la polarización del subsistema, el componente j se encarga del sensado del parámetro de la presión.

Requerimientos componente sensor de presión.

**Componente j:** sensor de presión.

**e12j:** Parámetro de profundidad, medido a partir de la presión ejercida por el agua 0-121 Kpa.

**e13j:** Polarización 5V +/- 10%.

**s9j:** Salidas analógicas entre proporcionales a la presión en Kpa.

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente j.

*Tabla 9. Selección del componente j.*

<b>SELECCIÓN DE COMPONENTE j</b>			
<b>ENTRADAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENT O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>A-100 Analog Pressure Sensor</i></b>	<b>REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Gravity Water Pressure Sensor SKU:SE0257</i></b>
e12j	Presión 0 - 121 Kpa	Presión 0-689 Kpa	Presión 0-1.6 Mpa
e13j	Polarización 5V +/- 10%	Polarización 3.3V- 5V Tiempo de Respuesta<1ms	Polarización 5V  Tiempo de Respuesta<2ms
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENT O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>A-100 Analog Pressure Sensor</i></b>	<b>REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Gravity Water Pressure Sensor SKU:SE0257</i></b>
s9j	Salidas analógicas proporcionales a la presión.	voltajes (0.5-4.5V)	voltajes (0.5-4.5V)

Según la tabla 7 se elige el componente 1, sensor de presión "A-100 Analog Pressure Sensor" del proveedor de Atlas Scientific como integración tecnológica, debido a que este sensor "A-100 Analog Pressure Sensor" cumple las especificaciones necesarias frente a los requerimientos levantados, no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de

datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del sensor.

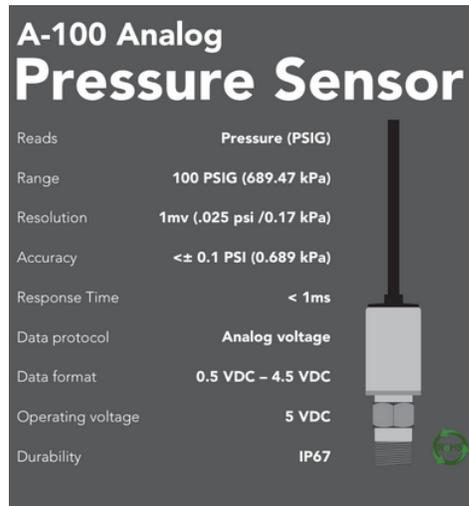


Figura 29.Hoja Técnica de sensor de presión .

### 8.2.5 Diseño funcional del subsistema E.

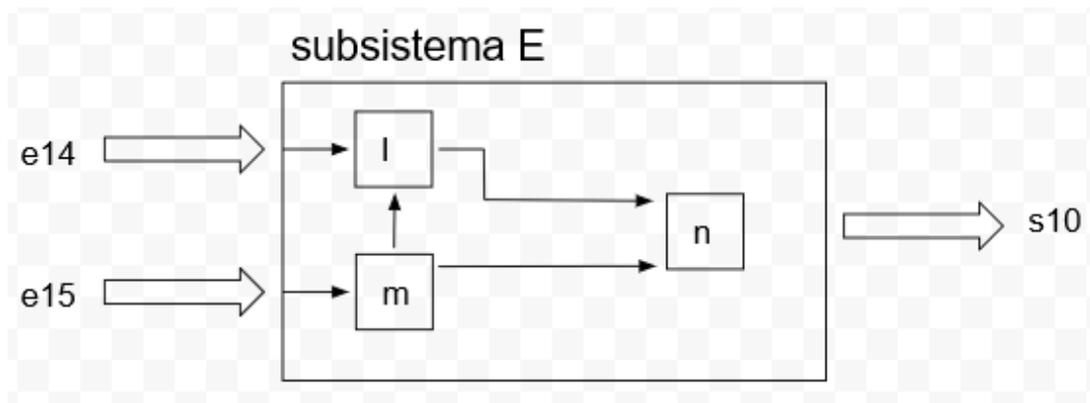


Figura 30.Diseño funcional del subsistema E, el subsistema tiene 3 componentes.

Según la figura 32 el subsistema E cuenta con tres componentes, el componente m corresponde a la polarización del subsistema, el componente I se encarga del sensado del parámetro de conductividad, el componente n se encarga del acondicionamiento de la señal entregada por el sensor.

Requerimientos componente sensor de conductividad.

**Componente I:** sensor de conductividad.

**e14l:** Parámetro de conductividad, valores entre 15 y 1500 $\mu$ S/cm, obtenidos del cuerpo hídrico.

**e15l:** Polarización 5V +/- 10%.

**s10l:** Salidas analógicas proporcionales a la conductividad.

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente I.

Tabla 10. Selección del componente I.

<b>SELECCIÓN DE COMPONENTE I</b>			
<b>ENTRADAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENT O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 1: <i>Conductivity Probe K 1.0</i></b>	<b>REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Analog Electrical Conductivity Sensor K1.0</i></b>
e14l	Conductividad 15- 1500 $\mu$ S/cm	Conductividad 5 - 200.000 $\mu$ S/cm	Conductividad 1 - 15 mS/cm
e15l	Polarización 5V +/- 10%	Polarización 3.3V- 5V  Tiempo de respuesta: 90% en 1s	Polarización 3-5V
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENT O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENT O DE COMPONENTE: <i>Conductivity Probe K 1.0</i></b>	<b>REQUERIMIENT O DE COMPONENTE 2: <i>Analog Electrical Conductivity Sensor K1.0</i></b>

s10g	Salidas analógicas proporcionales a la conductividad.	Corrientes muy pequeñas	Corrientes muy pequeñas
------	-------------------------------------------------------	-------------------------	-------------------------

Según la tabla 8 se elige el componente 1, sensor de conductividad "Conductivity Probe K 1.0" del proveedor de Atlas Scientific como integración tecnológica, debido a que el sensor "Conductivity Probe K 1.0" cumple las especificaciones necesarias frente a los requerimientos levantados, no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del sensor.



**Conductivity Probe K 1.0**

**Graphite**

Reads	Conductivity
Range	5 – 200,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Response time	90% in 1s
Max pressure	3,447 kPa (500 PSI)
Max depth	343 meters (1,125 ft)
Temperature range °C	1 – 110 °C
Cable length	1 meter
Internal temperature sensor	No
Time before recalibration	~10 years
Life expectancy	~10 years
Maintenance	N/A

Figura 31. Hoja Técnica de sensor de conductividad.

Requerimientos componente acondicionador del sensor de conductividad.

**Componente n:** circuito acondicionador del sensor de conductividad.

**e14n:** Entradas analógicas proporcionales a la conductividad.

**e15n:** Polarización 5V +/- 10%.

**s10n:** Valor de conductividad, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-40 caracteres).
- Unidades= $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Tipo de Dato =punto flotante.

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente n.

Tabla 11. Selección del componente n.

<b>SELECCIÓN DE COMPONENTE n</b>			
<b>ENTRADAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>Ezo Embedded Conductivity Circuit de Atlas Scientific</i></b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Signal Conversion Board(Transmitter) V2</i></b>
e14n	Salidas analógicas proporcionales a la conductividad.	Corrientes muy pequeñas	Corrientes muy pequeñas
e15n	Polarización 5V +/- 10%	Polarización 3.3V-5V	Polarización 3-5V
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>Ezo Embedded Conductivity Circuit de Atlas Scientific</i></b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Signal Conversion Board(Transmitter) V2</i></b>
s10n	Dato codificación ASCII formato String	Dato codificación ASCII formato String con Comunicación I2c o UART	Voltajes entre 0-3.4V

Según la tabla 9 se elige el componente 1, circuito acondicionador de la señal de conductividad "Ezo Embedded Conductivity Circuit" del proveedor de Atlas Scientific como integración tecnológica, debido a que el circuito acondicionador "Ezo Embedded Conductivity Circuit" cumple las especificaciones necesarias frente a los requerimientos levantados, no se

realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del sensor.



Figura 32. Hoja Técnica del circuito acondicionador de conductividad.

### 8.2.6 Diseño funcional del subsistema F.

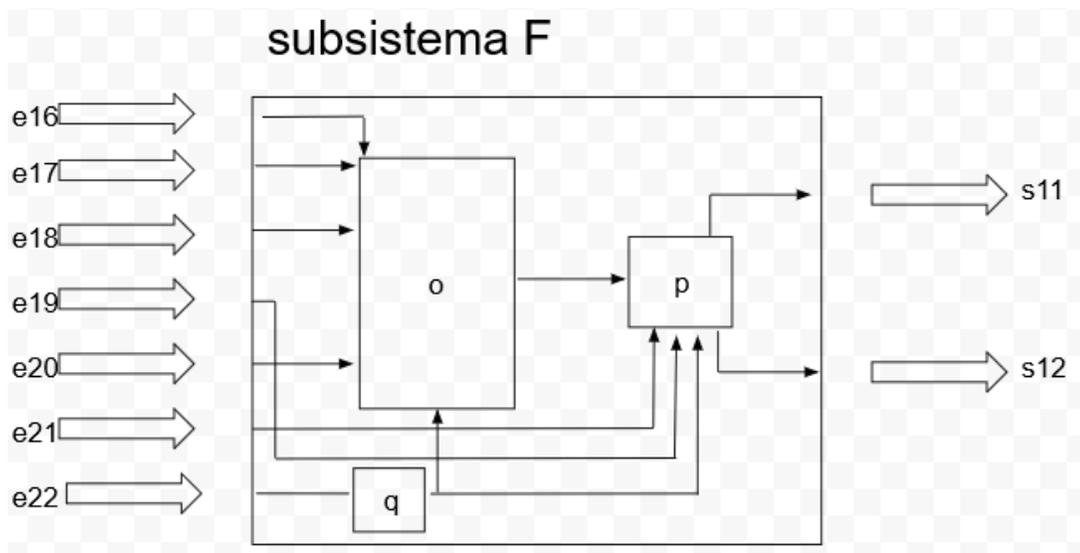


Figura 33. Diseño funcional del subsistema F, el subsistema tiene 3 componentes.

Según la figura 35 el subsistema F cuenta con tres componentes, el componente q corresponde a la polarización del subsistema, el componente o se encarga de la multiplexación de canales para la comunicación en i2c o UART y del aislamiento eléctrico entre los sensores

para la reducción del ruido que se pueda generar, el componente p se encarga de la lectura de los canales mediante la programación de un microcontrolador.

Requerimientos componente multiplexor de canales de comunicación.

**Componente o:** multiplexor de canales de comunicación.

**e16o:** Valor del parámetro de pH, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-40 caracteres).
- Unidades=pH.
- Tipo de Dato =punto flotante.

**e17o:** Valor de oxígeno disuelto, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-16 caracteres).
- Unidades=mg/l.
- Tipo de Dato =punto flotante.

**e18o:** Valor de temperatura, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-399 caracteres).
- Unidades=°C.
- Tipo de Dato =punto flotante.

**e20o:** Valor de conductividad, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (3-40 caracteres).
- Unidades= $\mu$ S/cm.
- Tipo de Dato =punto flotante.

**e22o:** Polarización 5V +/- 10%.

**s11o:** Comunicación multiplexada de los 4 sensores, con codificación ASCII, formato string.

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente o, relacionados con el aislamiento de señales que puedan llegar a interferir en la correcta toma de mediciones; dado esto se elige la tarjeta embebida "Tentacle shield for Arduino" del proveedor de White Box como integración tecnológica, a continuación, se detallan los requerimientos de la tarjeta "Tentacle shield for Arduino" frente a los requerimientos levantados.

Tabla 12. Selección del componente o.

<b>SELECCIÓN DE COMPONENTE o</b>		
<b>ENTRADAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>	
	<b>REQUERIMIENTO LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE: <i>Tentacle Shield for arduino de white box</i></b>
e16o	Valor del parámetro de pH, con codificación ASCII, formato string.	Valor del parámetro de pH mediante comunicación UART e I2C.
e17o	Valor del parámetro de o.d, con codificación ASCII, formato string.	Valor del parámetro de o.d mediante comunicación UART e I2C.
e18o	Valor del parámetro de temperatura, con codificación ASCII, formato string.	Valor del parámetro de temperatura mediante comunicación UART e I2C. formato string a 9600 bauds.
e20o	Valor del parámetro de conductividad, con codificación ASCII, formato string.	Valor del parámetro de conductividad, mediante comunicación UART e I2C.
e22o	Polarización 5V +/- 10%	Polarización 3.3V-5V
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>	
	<b>REQUERIMIENTO LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE: <i>Tentacle Shield for arduino de white box</i></b>

s11o	Comunicación multiplexada de los 4 sensores, con codificación ASCII, formato string.	Comunicación multiplexada de los 4 sensores UART e I2C
------	--------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------

Según la tabla 10 el componente seleccionado cumple con los requerimientos establecidos en el diseño, no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del sensor.

#### Description

Tentacle is an Arduino shield to host up to 4 sensor circuits from Atlas Scientific to measure PH, Dissolved Oxygen, Electric Conductivity (E.C.) and Oxidation-Reduction Potential (ORP) and temperature (RTD). The sensor circuits are **not** included. Works with current and all previous versions of these Atlas Scientific sensor circuits: PH, EC, DO, ORP, RTD

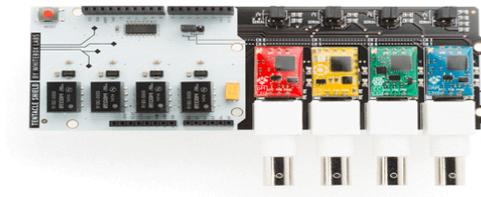


Figura 34. Hoja Técnica del circuito multiplexor de canales de comunicación.

Requerimientos componente microcontrolador.

**Componente p:** microcontrolador.

**e16p:** Valores de pH, o.d, temperatura, conductividad; multiplexados por protocolo UART con una velocidad de comunicación de 9600 bauds.

**e19p:** Lectura análoga de voltaje entre (0 a 5V) del parámetro de presión.

**e21p:** Lectura de la profundidad deseada, enviada desde la interfaz de usuario, con codificación ASCII, formato string.

- Dato= String (4-20 caracteres).
- Unidades=m.
- Tipo de Dato =punto flotante.

**e22p:** Polarización 5V +/- 10%.

**s11p:** Bits con codificación ASCII, formato string de las lecturas de las 5 variables.

**s12p:** 5 Salida digital (0 o 5V).

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente p.

Tabla 13. Selección del componente p.

<b>SELECCIÓN DE COMPONENTE p</b>			
<b>ENTRADAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>Arduino Mega</i></b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>Raspberry pi 3 Model B+</i></b>
e16p	Valores de ph, o.d, temperatura, conductividad; multiplexados por protocolo UART con una velocidad de comunicación de 9600 bauds.	Velocidad máxima de comunicación de 115200 bauds.  Comunicación UART e I2c.	Velocidad máxima de comunicación de 400000 bauds.  Comunicación UART e I2c.
e19p	lectura análoga del parámetro de presión (0-5v).	14 canales digitales y 6 análogos que pueden ser configurados como entradas y salidas, permiten como máximo un voltaje de 5V y una corriente de 40 mA.	40 pines GPIO configurables.
e21p	Lectura de la profundidad deseada, enviada desde la interfaz de usuario, con codificación ASCII, formato string.	Transmisión y recepción de datos seriales TTL, por medio de la utilización de los pines RX y TX.	Transmisión y recepción de datos seriales TTL, por medio de la utilización de los pines RX y TX.

e22p	Polarización 5V+/- 10%.	Alimentación máxima de 6-20 V	Alimentación de 5.1V con corriente de 2.5A
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>Arduino Mega</i></b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>Raspberry pi 3 Model B+</i></b>
s11p	Bits con codificación ASCII, formato string de las lecturas de las 5 variables.	Velocidad máxima de comunicación de 115200 bauds.  Comunicación UART e I2c	Velocidad máxima de comunicación de 400000 bauds.  Comunicación UART e I2c.
s12p	5 Salida digital (0 o 5V).	14 canales digitales y 6 análogos que pueden ser configurados como entradas y salidas, permiten como máximo un voltaje de 5V y una corriente de 40 mA.	24 pines GPIO configurables como entradas o salidas análogas o digitales.

Según la tabla 11 se elige el componente 1, microcontrolador "Arduino Mega", debido a que el microcontrolador cumple las especificaciones necesarias frente a los requerimientos levantados, de igual manera es mucho más asequible en cuanto a su precio frente al componente 2, microcontrolador "Raspberry pi 3 Model B+", sabiendo que este también cumple las especificaciones necesarias frente a los requerimientos levantados, no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del sensor. Se podrá almacenar un promedio de 20 datos por variable en la memoria interna EEPROM del arduino MEGA, ya que esta tiene un tamaño de almacenamiento de 4 Kbyte, y la lectura aproximada de cada sensor ocupará aproximadamente 40 bytes.

## ATmega328/P

DATASHEET COMPLETE

### Introduction

The Atmel® picoPower® ATmega328/P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR® enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega328/P achieves throughputs close to 1MIPS per MHz. This empowers system designer to optimize the device for power consumption versus processing speed.

### Feature

High Performance, Low Power Atmel®AVR® 8-Bit Microcontroller Family

- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions
  - Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 32KBytes of In-System Self-Programmable Flash program Memory
  - 1KBytes EEPROM
  - 2KBytes Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data Retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C<sup>(1)</sup>
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- Atmel® QTouch® Library Support
  - Capacitive Touch Buttons, Sliders and Wheels
  - QTouch and QMatrix® Acquisition
  - Up to 64 sense channels

Figura 35.Hoja Técnica del microcontrolador del Arduino.

### 8.2.7 Diseño funcional del subsistema G.

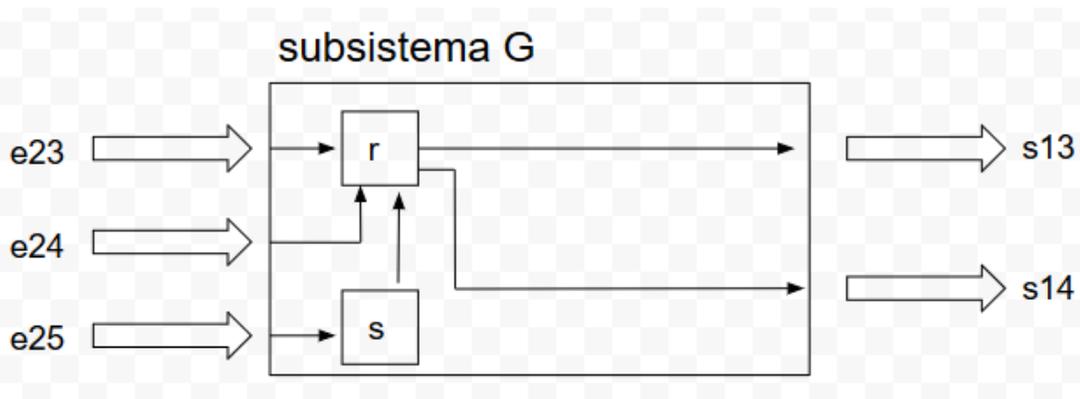


Figura 36.Diseño funcional del subsistema G, el subsistema tiene 2 componentes.

Según la figura 38 el subsistema G cuenta con dos componentes, el componente s corresponde a la polarización del subsistema, el componente r se encarga de la transmisión en

forma de paquetes de bits de los 5 datos obtenidos de los sensores y la recepción del dato en paquetes de bits dados por el usuario desde la interfaz gráfica.

Requerimientos componente transmisor-receptor inalámbrico de datos.

**Componente r:** transmisor inalámbrico de datos del módulo.

**e23r:** Transmisión de datos de forma inalámbrica modulados en una frecuencia de 2.4 GHz, de los valores de pH, o.d, temperatura, conductividad y profundidad; multiplexados por protocolo UART con una velocidad de comunicación de 9600 bauds.

**e24r:** Lectura de la profundidad deseada, enviada desde la interfaz de usuario, con codificación ASCII, formato string; con una tasa de transferencias de datos mayor a 1 Mbps y con una distancia de recepción-transmisión mayor o igual a 10 m.

- Dato= String (4-20 caracteres).
- Unidades=m.
- Tipo de Dato =punto flotante.

**e25r:** Polarización 5V +/- 10%.

**s13r:** Transmisión de paquetes de bits modulados en una frecuencia de 2.4 GHz a una velocidad mayor a 1 Mbps.

**s14r:** Datos de-modulados y enviados mediante comunicación UART al microcontrolador a una velocidad de 9600 bauds.

Tabla 14. Selección del componente r.

SELECCIÓN DE COMPONENTE r				
ENTRADAS	VALOR REQUERIMIENTO			
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>SparkFun Bluetooth Modem - BlueSMiRF Gold</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>HC-12 Wireless Serial Port Communication Module</i>	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 3: <i>HC-05</i>

e23r	Transmisión de datos de forma inalámbrica, mediante protocolo UART a una velocidad de 9600 bauds	Velocidad de comunicación serial de 2400 a 115200 baudios. Banda de frecuencias de 2.4 Ghz	Velocidad de comunicación serial de 1200 a 115200 bauds. Banda de frecuencias 433-473.0MHz.	Velocidad de comunicación serial de 4800 a 1.3M bauds. Banda de frecuencia de 2.4Ghz
e24r	Tasa de transferencia de datos mayor a 1 Mbps .  Distancia mayor igual a 10 m	Tasa de transferencia de datos entre 1.5 Mbps a 3 Mbps.  Sistema bidireccional con distancia de alcance máximo de 106 m	Tasa de transferencia de datos de 5 Kbps.  Sistema bidireccional con distancia máxima de transmisión de datos de 1000 m	Tasa de transferencia de datos de 38.4Kbps.  Sistema bidireccional con distancia máxima de transmisión de datos de 18m
e25r	Polarización 5V +/- 10%.	Polarización 3.3 a 6V.	Polarización 3.2 a 5.5 V .	Polarización de 3 a 6V
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>			
	<b>REQUERIMIENTO LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 1: <i>SparkFun Bluetooth Modem - BlueSMiRF Gold</i></b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 2: <i>HC-12 Wireless Serial Port Communication Module</i></b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE 3: <i>HC-05</i></b>
s13r	Transmisión de datos	Opera en la banda de	Opera en la Banda de	Opera en la Banda de

	modulados a una frecuencia de 2.4 Ghz, con tasa de transferencia mayor a 1 Mbps	frecuencias ISM (2.4 Ghz) con tasa de transferencia de datos de 1.5 Mbps a 3 Mbps.	frecuencias 433.4-473.0MHz con tasa de transferencia de datos de 5Kbps	frecuencia de 2.4Ghz con tasa de transferencia de datos de 38.4Kbps
s14r	Velocidad de comunicación serial de 9600 bauds.	Velocidad de comunicación serial de 2400 a 115200 bauds.	Velocidad de comunicación serial de 1200 a 115200 bauds.	Velocidad de comunicación serial de 4800 a 1.3M bauds.

Según la tabla 12 el componente que cumple con los requerimientos establecidos en el diseño, es el componente 1 "SparkFun Bluetooth Modem - BlueSMiRF Gold"; no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del sensor.



Figura 37. Hoja Técnica del módulo Bluetooth.

### 8.2.8 Diseño funcional del subsistema H.

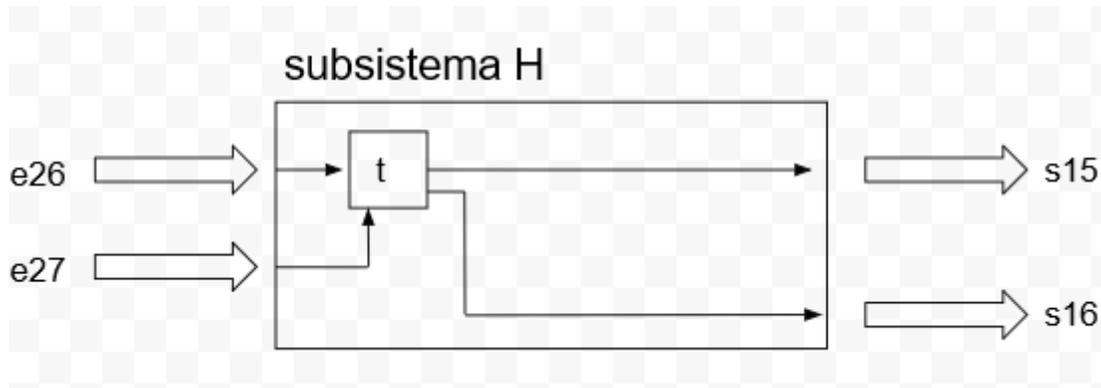


Figura 38. Diseño funcional del subsistema H, el subsistema tiene 1 componente.

Según la figura 40 el subsistema H cuenta con un componente; el componente t se encarga de la recepción en forma de paquetes de bits de los 5 datos obtenidos de los sensores y la transmisión del dato en paquetes de bits dados por el usuario desde la interfaz gráfica; este componente está internamente situado en el computador en el cual se realizará la interfaz gráfica.

Requerimientos componente transmisor-receptor inalámbrico de datos.

**Componente t:** transmisor y receptor inalámbrico de datos del computador.

**e26t:** Recepción de datos de forma inalámbrica modulados en una frecuencia de 2.4 GHz, de los valores de pH, o.d, temperatura, conductividad y profundidad; enviados desde el módulo con una tasa de transferencia de datos mayor a 1 Mbps.

**e27t:** Lectura del dato de la profundidad deseada, enviada desde la interfaz de usuario, con codificación ASCII, formato string; mediante comunicación UART.

- Dato= String (4-20 caracteres).
- Unidades=m.
- Tipo de Dato =punto flotante.

**s15t:** Transmisión de paquetes de bits modulados en una frecuencia de 2.4 GHz a una velocidad mayor a 1 Mbps.

**s16t:** Datos de los valores de pH, o.d, temperatura, conductividad y profundidad; demodulados y enviados mediante comunicación UART a la interfaz de usuario.

### 8.2.9 Diseño funcional del subsistema I.

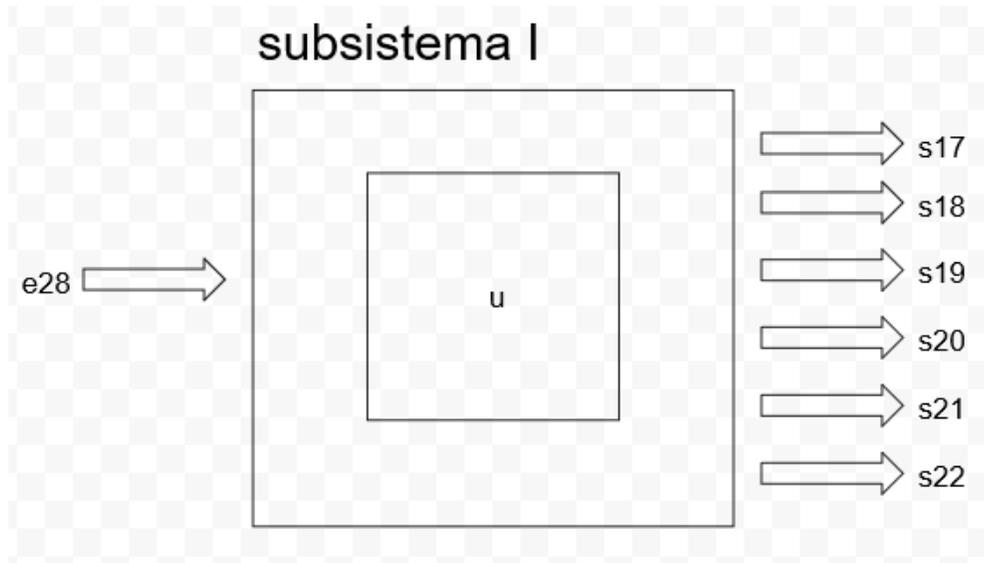


Figura 39. Diseño funcional del subsistema I, el subsistema tiene 1 componente.

Según la figura 41 el subsistema I cuenta con un componente, la función del componente u es la visualización mediante una GUI (Graphic User Interface) de los datos entregados por el módulo de medición a una distancia mayor-igual a 10 m, además permite el ingreso de las profundidades en las cual el usuario desea recolectar las muestras de agua, mediante la utilización de un computador; los requerimientos del componente u son los mismos requerimientos del subsistema I.

Requerimientos componente interfaz gráfica del computador.

**Componente u:** Interfaz gráfica del computador.

**e28u:** Paquetes de bits de-modulados con una tasa de transferencia mayor a 1 Mbps, con codificación ASCII, formato string de la lectura de las 5 variables entregadas desde el transmisor del módulo de medición.

**s17u:** Valor cuantificado del pH entre 5 y 9, con resolución de 0.001 en formato String punto flotante.

**s18u:** Valor cuantificado del nivel de oxígeno disuelto entre 0 y 12 mg/l +/- 0.05 mg/l en formato String punto flotante.

**s19u:** Valor cuantificado de la temperatura entre 4°C y 25°C, con resolución de 0.001°C en formato String punto flotante.

**s20u:** Valor cuantificado de la profundidad entre 0 y 2m +/- 10cm en formato String punto flotante.

**s21u:** Valor cuantificado la conductividad entre 15 a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  +/-2% en formato String punto flotante.

**s22u:** Paquetes de bits, con codificación ASCII, formato string de la lectura de la variable entregada desde la interfaz de usuario correspondiente a la profundidad deseada.

### 8.2.10 Diseño funcional del subsistema J.

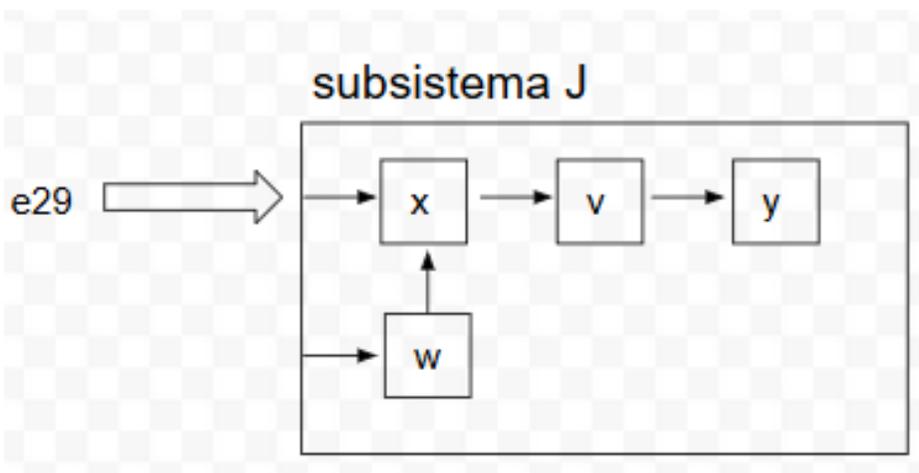


Figura 40. Diseño funcional del subsistema J, el subsistema tiene 3 componente.

Según la figura 42 el subsistema J cuenta con cuatro componentes, el componente w corresponde a la polarización para el circuito de potencia, el componente x será el circuito de potencia que permita la activación de la motobomba a partir de la señal digital de entrada, el componente v será la motobomba que se activará para almacenar el agua en el componente de almacenamiento y.

Cabe recordar que este subsistema J, se replicará 4 veces más, para poder obtener las 5 muestras definidas en los requerimientos del proyecto.

Requerimientos componente driver de potencia.

#### **Componente x: Driver de potencia.**

**e29x:** Señal digital (0 o 5V).

**e30x:** Polarización 12V +/- 10%.

**s29x:** Señal de control análoga de 12 V y 300 mA.

Se realiza integración de tecnología para evitar problemas futuros en la implementación del componente x, se elige el circuito integrado L293d como integración tecnológica, a continuación, se detallan los requerimientos del componente frente a los requerimientos levantados.

*Tabla 15. Selección del componente x.*

<b>SELECCIÓN DE COMPONENTE x</b>		
<b>ENTRADAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>	
	<b>REQUERIMIENTO LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE: <i>L293d</i></b>
e29x	Señal digital (0-5v)	se controla por entradas digitales y permite pwm.
e30x	Polarización 12v.	Polarización (4.5 - 36V).
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>	
	<b>REQUERIMIENTO LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO DE COMPONENTE: <i>L293d</i></b>
s29x	Señal análoga de 12v y 300 mA	Entrega una corriente máxima de 600 mA, soporta un pico de corriente de 1.2 A

Según la tabla 13 el componente seleccionado cumple con los requerimientos establecidos en el diseño, a continuación, se muestra la simulación del puente h L293d.

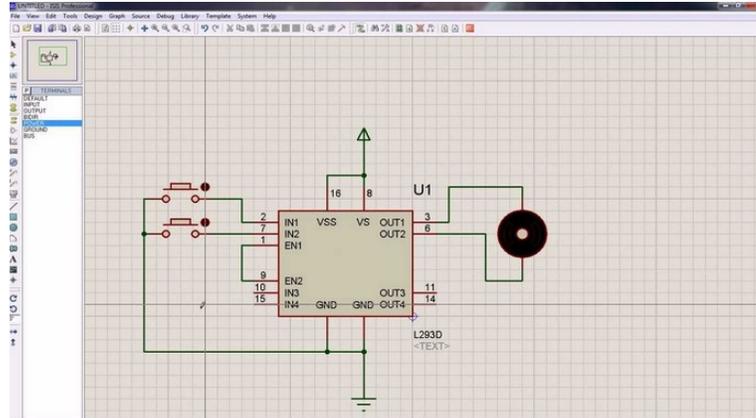


Figura 41. Simulación del puente h l293d.

Requerimientos componente pila.

**Componente w: Pila.**

**s29w:** Señal de 12 V y 1000 mA máximo.

A continuación, se detallan los requerimientos del componente frente a los requerimientos levantados.

Tabla 16. Selección del componente w.

SELECCIÓN DE COMPONENTE w		
SALIDAS	VALOR REQUERIMIENTO	
	REQUERIMIENTO LEVANTADO	REQUERIMIENTO DE COMPONENTE: V <i>Energy LiPo</i>
s29w	Señal de 12 V y 1000 mA máximo	Entrega un voltaje de 11,1 V y una corriente de 1A.

Según la tabla 14 el componente seleccionado cumple con los requerimientos establecidos en el diseño.

Requerimientos componente Motobomba.

**Componente v: Motobomba.**

**e29v:** Señal de 12V y 300 mA máximo.

**s29v:** Recolección de muestra de agua de máximo 100 mL.

A continuación, se detallan los requerimientos del componente frente a los requerimientos levantados.

Tabla 17. Selección del componente v.

<b>SELECCIÓN DE COMPONENTE v</b>			
<b>ENTRADAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>Peristaltic Liquid Pump with Silicone Tubing</i></b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>EZO_PMP</i></b>
e29v	Señal digital (0-5v)	se controla por entradas digitales y permite pwm.	Valor de la cantidad de líquido que se desee muestra mediante un dato con codificación ASCII en comunicación UART e I2C.
<b>SALIDAS</b>	<b>VALOR REQUERIMIENTO</b>		
	<b>REQUERIMIENTO O LEVANTADO</b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 1: <i>Peristaltic Liquid Pump with Silicone Tubing</i></b>	<b>REQUERIMIENTO O DE COMPONENTE 2: <i>EZO_PMP</i></b>
s29v	Señal análoga de 12v y 300 mA	Entrega una corriente máxima de 600 mA, soporta	La bomba recolecta la cantidad especificada en el string de entrada.

		un pico de corriente de 1.2 A	
--	--	-------------------------------	--

Según la tabla 15 el componente que cumple con los requerimientos establecidos en el diseño, es el componente 1 "Peristaltic Liquid Pump with Silicone Tubing"; no se realizará simulación del componente debido a que la hoja de datos técnica brindada por el fabricante, entrega información acerca del comportamiento del sensor.

### TECHNICAL DETAILS

- Uses approx 4mm outer diameter, 2mm inner silicone tubing, the pump tube size has changed on us, so please measure the tubing that comes with your pump to verify!
- Working Temperature: 0°C - 40 °C
- Motor voltage: 12VDC
- Motor current: 200-300mA
- Flow rate: up to 100 mL/min
- Weight: 200 grams
- Dimensions: 27mm diameter motor, 72mm total length
- Mounting holes: 2.7mm diameter, 50mm center-to-center distance

Figura 42. Hoja Técnica de la motobomba [17].

### 8.3 Esquemáticos del sistema.

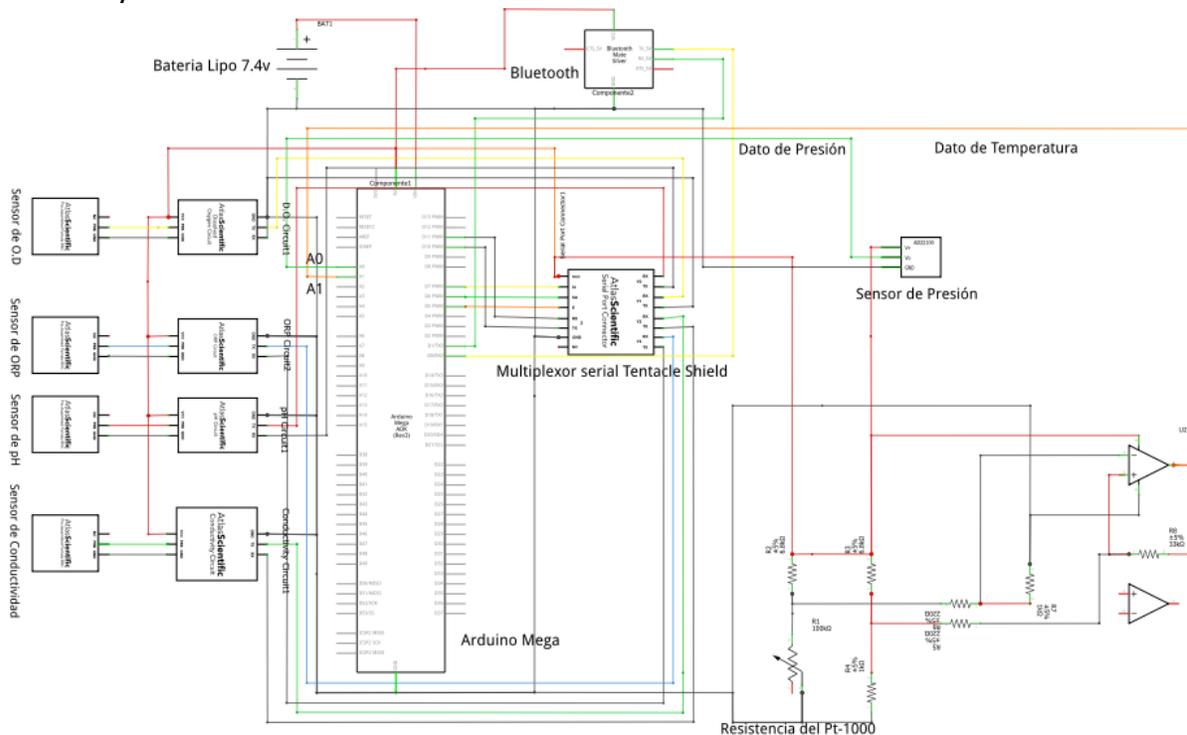


Figura 43. Esquemático completo del módulo de medición

En la anterior imagen se puede visualizar el esquemático de los componentes que se implementaron para el módulo de medición, dentro de los componentes más importantes encontramos los sensores utilizados junto con el respectivo circuito acondicionar de señal (PH, O.D, ORP, conductividad, presión y temperatura); de igual manera se pueden ver el multiplexor serial del Tentacle Shield, el módulo de comunicación Bluetooth, el arduino Mega, el circuito acondicionador de señal del sensor de temperatura (puente de wheatstone), y la batería tipo lipo de 7.4 V.

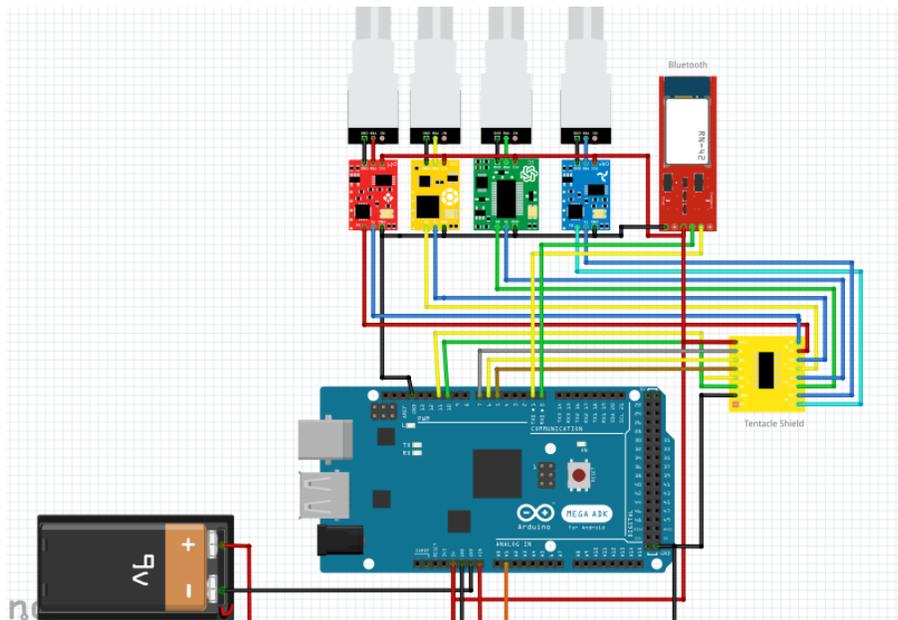


Figura 44. Diagrama de conexiones módulo de medición.

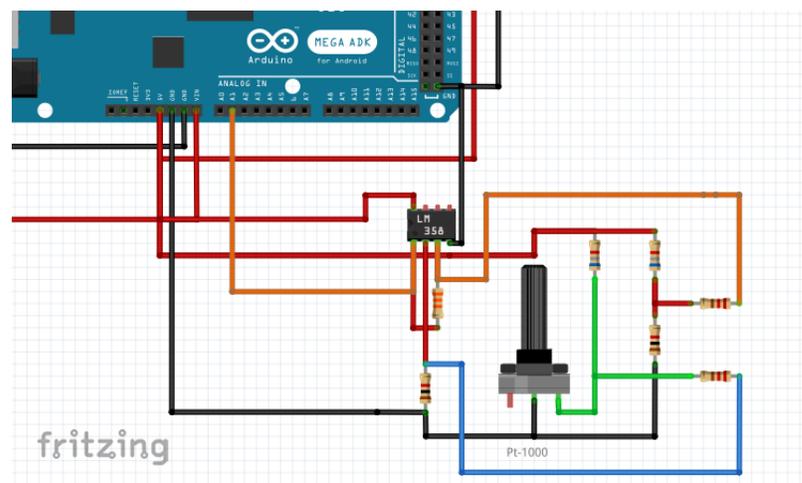


Figura 45. Diagrama de conexiones Sensor de Temperatura

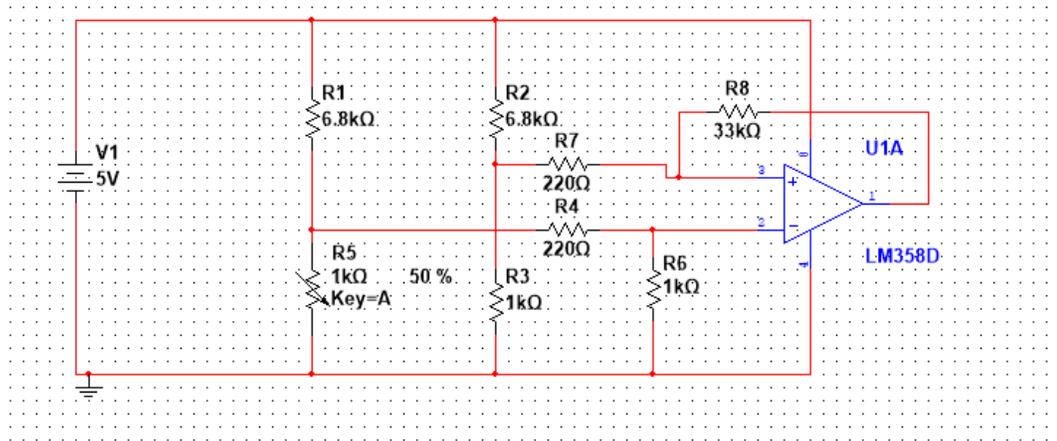


Figura 46. Esquemático de acondicionamiento de señal de temperatura

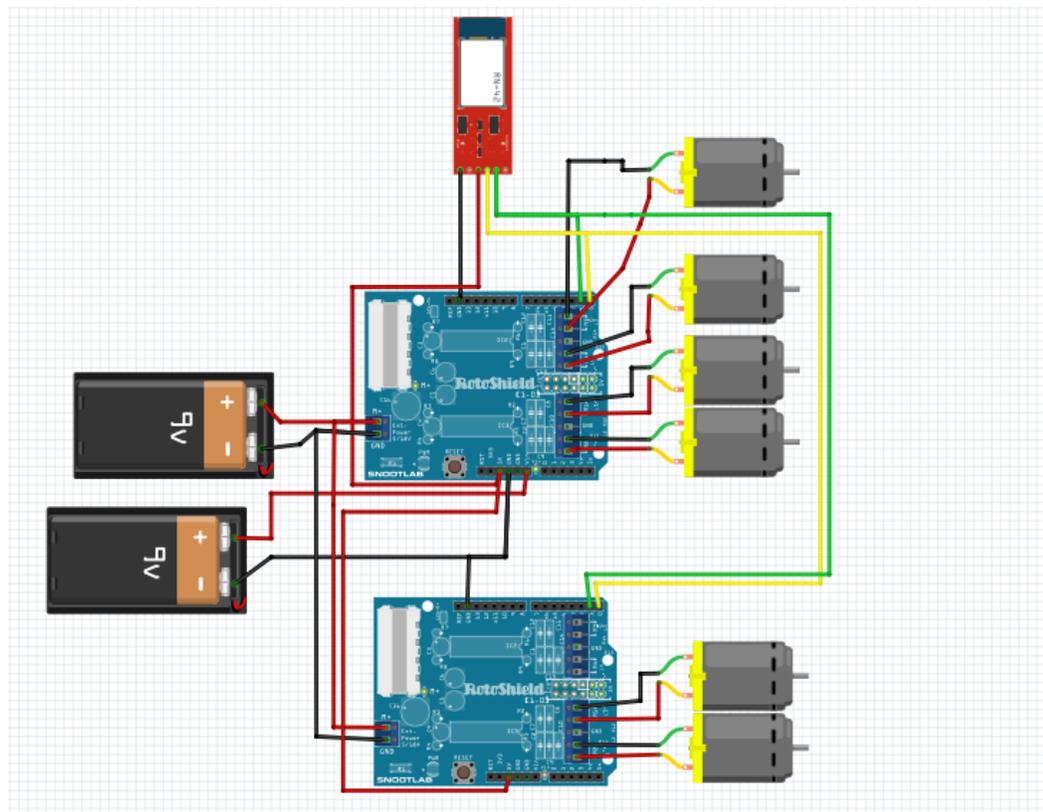


Figura 47. Diagrama de conexiones del módulo de muestras.

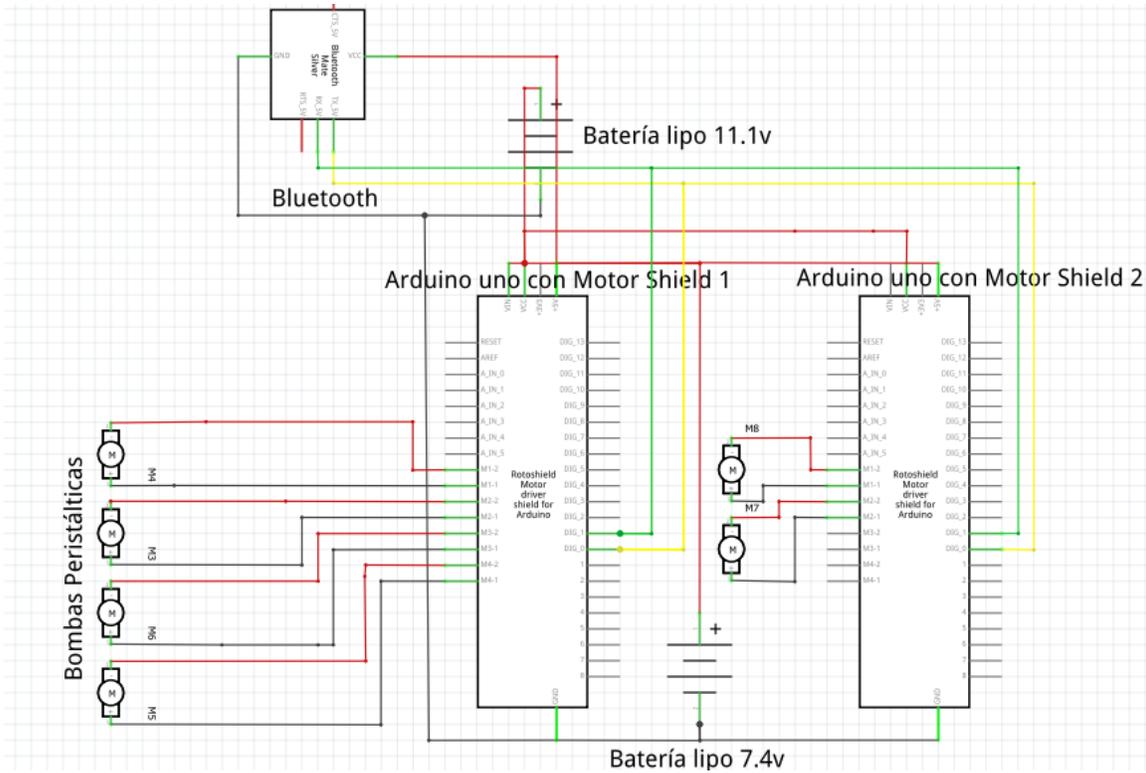


Figura 48. Esquema completo del módulo de muestras.

En la anterior imagen se puede visualizar el esquema de los componentes que se implementaron para el módulo de muestras, dentro de los componentes más importantes encontramos las bombas peristálticas de 12 V, el módulo de comunicación Bluetooth, dos arduinos UNO, dos Motor shield, la batería tipo lipo de 7.4 V y una la batería tipo lipo de 11.1 V. La comunicación serial del módulo Bluetooth va dirigida a los dos puertos seriales de cada arduino, esto es debido a que el motor shield solo puede manejar 4 motobombas, por eso se recurrió a la utilización de otra placa arduino junto con otro motor shield; sin embargo, se espera que en el futuro desarrollo del proyecto se pueda llegar a controlar 8 bombas peristálticas en total, las cuales son las disponibles en el módulo; por el momento nos encargamos de controlar 6 bombas peristálticas.

## 9 PLAN DE PRUEBAS DEL SISTEMA

### 9.1 Plan de pruebas de componentes

Para el plan de prueba de los componentes se realizará una lista de chequeo en la que se comparan los requerimientos levantados frente a los datos entregados por la hoja técnica; de igual manera se aclara el procedimiento y equipos necesarios para verificar cada requerimiento.

*Tabla 18. Plan de pruebas de componente Industrial pH probe de Atlas Scientific.*

Requerimiento levantado componente: Industrial ph probe de Atlas Scientific		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e6a	Verificación rango PH (5-9)	Máximo 2 personas	10 min	COD meter and multiparameter bench photometer: HI83099-01 Hanna instruments	mide ph entre 0-14		
	e7a	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c.	Polarización de 5V		
Requerimientos de salida	s6a	Medición de salida análoga del sensor	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Osciloscopio Tektronix TDS 1012	20-40 $\mu$ A		

Para la realización de esta prueba del componente Industrial pH probe de Atlas Scientific, se identifica que en la sustancia en la cual se vaya a medir el parámetro de pH, realmente esté dentro del rango estipulado anteriormente en el apartado de requerimientos.

*Tabla 19. Plan de pruebas de componente Ezo Embedded pH circuit de Atlas Scientific.*

Requerimiento levantado componente: Ezo Embedded ph circuit de Atlas Scientific		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e6b	Medición de entrada análoga entregada por el sensor.	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Osciloscopio Tektronix TDS 1012	20-40 $\mu$ A		
	e7b	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c.	Polarización de 5V		
Requerimientos de salida	s6b	Prueba de dato de PH	Máximo 2 personas	45 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 40 caracteres mediante comunicación UART		

Para la realización de esta prueba del componente Ezo Embedded pH circuit de Atlas Scientific, se identifica que el acondicionador de la señal entrega un dato de tipo String en una interfaz como arduino correspondiente al valor del pH comparado con el valor real entregado por el PH-metro.

*Tabla 20. Plan de pruebas de componente Dissolved Oxygen Probe de Atlas Scientific.*

Requerimiento levantado componente: Dissolved Oxygen Probe de Atlas Scientific		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e8d	Verificación rango de D.O (0-12 mg/l)	Máximo 2 personas	10 min	COD meter and multiparameter bench photometer: HI83099-01 Hanna instruments	Mide el nivel de O.D entre 0-100 mg/l		
	e9d	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c.	Polarización de 5V		
Requerimientos de salida	s7d	Medición de salida análoga del sensor	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Osciloscopio Tektronix TDS 1012	Voltajes entre 0-40 mV		

Para la realización de esta prueba del componente Dissolved Oxygen Probe de Atlas Scientific, se identifica que en la sustancia en la cual se vaya a medir el parámetro de nivel de oxígeno disuelto, realmente esté dentro del rango estipulado anteriormente en el apartado de requerimientos.

*Tabla 21. Plan de pruebas de componente Ezo Embedded Dissolved Oxygen Circuit.*

Requerimiento levantado componente: Ezo Embedded Dissolved Oxygen Circuit de Atlas Scientific		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e8f	Medición de entrada análoga entregada por el sensor.	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Osciloscopio Tektronix TDS 1012	0-40 mV		
	e9f	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c.	Polarización de 5V		
Requerimientos de salida	s7f	Prueba de dato de Nivel	Máximo 2 personas	45 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 16 caracteres		

		de oxigenación				mediante comunicación UART		
--	--	----------------	--	--	--	----------------------------	--	--

Para la realización de esta prueba del componente Ezo Embedded Dissolved Oxygen Circuit de Atlas Scientific, se identifica que el acondicionador de la señal entrega un dato de tipo String en una interfaz como arduino correspondiente al valor del oxígeno disuelto comparado con el valor real entregado por el Sensor de O.D perteneciente al laboratorio.

*Tabla 22. Plan de pruebas de componente Industrial PH probe (PT 1000).*

Requerimiento levantado componente: Industrial Ph probe (PT 1000)		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e10g	Verificación rango de Temperatura (14-25 °C)	Máximo 2 personas	10 min	termómetro análogo.	Mide el nivel temperatura entre -200- 850°C		
	e11g	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Unit ut39c.	Polarización de 3.3V a 5V		
Requerimientos de salida	s8g	Medición de salida análoga del sensor	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Multímetro Unit ut39c.	Variación de resistencia entre 1- 1.385KΩ		

Para la realización de esta prueba del componente Industrial PH probe (PT 1000), se identifica que en la sustancia en la cual se vaya a medir el parámetro de temperatura, realmente esté dentro del rango estipulado anteriormente en el apartado de requerimientos.

*Tabla 23. Plan de pruebas de componente Ezo Embedded Temperature Circuit.*

Requerimiento levantado componente :Ezo Embedded Temperature Circuit de Atlas Scientific		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e10i	Medición de entrada análoga entregada por el sensor.	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Multímetro Unit ut39c.	Variación de resistencia entre 1- 1.385KΩ		
	e11i	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Unit ut39c.	Polarización de 5V		

<b>Requerimientos de salida</b>	s8i	Prueba de dato de Temperatura	Máximo 2 personas	45 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 399 caracteres mediante comunicación UART		
---------------------------------	-----	-------------------------------	-------------------	----------------	-------------------------------	--------------------------------------------------------------	--	--

Para la realización de esta prueba del componente Ezo Embedded Temperature Circuit de Atlas Scientific, se identifica que el acondicionador de la señal entrega un dato de tipo String en una interfaz como arduino correspondiente al valor de temperatura comparado con el valor real entregado por el termómetro de agua perteneciente al laboratorio.

*Tabla 24. Plan de pruebas de componente A-100 Analog Pressure Sensor*

Requerimiento levantado componente A-100 Analog Pressure Sensor		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
<b>Requerimientos de entrada</b>	e12j	Verificación rango de presión (0-121 Kpa)	Máximo 2 personas	10 min	Flexómetro.	Mide el nivel presión de 0-689 Kpa		
	e13j	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c.	Polarización de 3.3V a 5V		
<b>Requerimientos de salida</b>	s8j	Medición de salida análoga del sensor	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c- Osciloscopio Tektronix TDS 1012	Voltajes entre (0.5-4.5 V)		

Para la realización de esta prueba del componente A-100 Analog Pressure Sensor , se identifica que en el cuerpo hídrico en el cual se vaya a medir el parámetro de presión, realmente esté dentro del rango estipulado anteriormente en el apartado de requerimientos.

*Tabla 25. Plan de pruebas de componente Conductivity Probe K 1.0.*

Requerimiento levantado componente: Conductivity Probe K 1.0		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
<b>Requerimientos de entrada</b>	e14l	Verificación rango de conductividad (15-1500 $\mu\text{S/cm}$ )	Máximo 2 personas	10 min	COD meter and multiparameter bench photometer: HI83099-01	Mide conductividad ad entre 5-20000 $\mu\text{S/cm}$		

					Hanna instruments.			
	e15l	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c	Polarización de 3.3V a 5V		
<b>Requerimientos de salida</b>	s10l	Medición de salida análoga del sensor	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Osciloscopio Tektronix TDS 1012	Corrientes muy pequeñas		

Para la realización de esta prueba del componente Conductivity Probe K 1.0, se identifica que en la sustancia en la cual se vaya a medir la conductividad, realmente esté dentro del rango estipulado anteriormente en el apartado de requerimientos.

*Tabla 26. Plan de pruebas de componente Ezo Embedded Conductivity Circuit.*

Requerimiento levantado componente: Ezo Embedded Conductivity Circuit de Atlas Scientific	Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
<b>Requerimientos de entrada</b>	e14n	Medición de entrada análoga entregada por el sensor.	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Osciloscopio Tektronix TDS 1012	Corrientes muy pequeñas	
	e15n	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c	Polarización de 5V	
<b>Requerimientos de salida</b>	s10n	Prueba de dato de Conductividad	Máximo 2 personas	45 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 40 caracteres mediante comunicación UART	

Para la realización de esta prueba del componente Ezo Embedded Conductivity Circuit de Atlas Scientific, se identifica que el acondicionador de la señal entrega un dato de tipo String en una interfaz como arduino correspondiente al valor de la conductividad comparado con el valor real entregado por el sensor de conductividad perteneciente al laboratorio.

*Tabla 27. Plan de pruebas de componente Tentacle Shield for arduino de white box.*

Requerimiento levantado componente: Tentacle Shield for arduino de white box	Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento

<b>Requerimientos de entrada</b>	e160	Medición de dato de dato de Ph	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 40 caracteres mediante comunicación UART valor de ph entre 5-9.		
	e170	Medición de dato de dato de O.D.	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 16 caracteres mediante comunicación UART valor de O.D entre 0-12 mg/L.		
	e180	Medición de dato de dato de temperatura.	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 399 caracteres mediante comunicación UART valor de temperatura entre 14-25 °C.		
	e20o	Medición de dato de dato de conductividad	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 40 caracteres mediante comunicación UART valor de conductividad entre 15-1500 µS/cm.		
	e220	Verificación Voltaje de alimentación	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni- t ut39c	Polarización de 5V		
<b>Requerimientos de salida</b>	s11o	Prueba de datos de las variables (ph, temperatura, O.D y conductividad)	Máximo 2 personas	90 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Datos string transmitidos mediante comunicación UART, de las variables de (ph, temperatura, O.D y conductividad )		

Para la realización de esta prueba del componente Tentacle Shield for arduino de white box, se identifica que los acondicionadores de las señales de (PH, D.O, temperatura y conductividad) entrega la multiplexación de los datos tipo String en una interfaz como arduino, mediante comunicación UART, comparado con los valores reales entregados por los sensores pertenecientes al laboratorio.

Tabla 28. Plan de pruebas de componente Arduino Mega.

Requerimiento levantado componente Arduino Mega	Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
<b>Requerimientos de entrada</b>	e16p	Prueba de datos de las variables (ph, temperatura, O.D y conductividad)	Máximo 2 personas	90 min máximo.	IDE de Arduino	Datos string transmitidos mediante comunicación UART, de las variables de (ph, temperatura, O.D y conductividad )	
	e19p	Lectura análoga de parámetro de presión	Máximo 2 personas	20 min máximo.	IDE de Arduino	Entradas análogas de 0 a 5V	
	e21p	Lectura de dato de interfaz.	Máximo 2 personas	20 min máximo.	IDE de Arduino.	Dato string de 4 a 20 caracteres mediante comunicación UART del valor de profundidad.	
	e22p	Verificación Voltaje de alimentación	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c	Polarización de 5V	
<b>Requerimientos de salida</b>	s11p	Prueba de envío de datos a interfaz.	Máximo 2 personas	45 min máximo.	Osciloscopio Tektronix TDS 1012- interfaz	Bits con codificación ascii de lectura de sensores	
	s12p	Salidas Digitales	Máximo 2 personas	20 min máximo	Multímetro Uni-t ut39c	Salida digital de 5V por 5 canales diferentes.	

Para la realización de esta prueba del componente Arduino Mega, se identifica que el componente procese la información, la envía y reciba correctamente a la interfaz gráfica.

Tabla 29. Plan de pruebas de componente SparkFun Bluetooth Modem.

Requerimiento levantado componente: SparkFun Bluetooth Modem - BlueSMiRF Gold	Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
-------------------------------------------------------------------------------	---------------------	----------------------	-----------------------------	-------------------------------	------------------------	-------------------------	-----------------------------------

<b>Requerimientos de entrada</b>	e23r	Prueba de transmisión de datos inalámbricamente.	Máximo 2 personas	90 min máximo.	Osciloscopio Tektronix TDS 1012	Velocidad de transmisión máxima de 115200 baudios.		
	e24r	Prueba de la lectura de la profundidad y distancia de comunicación	Máximo 2 personas	40 min máximo.	IDE de Arduino-metro	Dato string de 4 a 20 caracteres mediante comunicación UART del valor de profundidad.		
	e25r	Verificación Voltaje de alimentación	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c	Polarización de 5V		
<b>Requerimientos de salida</b>	s13r	Prueba de transmisión de datos inalámbricamente.	Máximo 2 personas	45 min máximo.	IDE de arduino e interfaz gráfica	Bits con codificación ascii de lectura de sensores		
	s14r	Prueba de transmisión de datos a microcontrolador	Máximo 2 personas	30 min máximo	Multímetro Uni-t ut39c (Outputs)	Dato string a 9600 bauds comunicación serial		

Para la realización de esta prueba del componente SparkFun Bluetooth Modem - BlueSMiRF Gold, se identifica que el componente comunique, envíe y reciba datos correctamente de módulo a interfaz recíprocamente.

*Tabla 30. Plan de pruebas de componente Bluetooth del computador.*

Requerimiento levantado componente: Bluetooth del computador	Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
<b>Requerimientos de entrada</b>	e26t	Prueba de recepción de datos de la variables .	Máximo 2 personas	10 min	Interfaz Gráfica.	Mide el nivel de O.D entre 0-100 mg/l	
	e27t	Prueba de lectura de datos de la profundidad	Máximo 2 personas	15 min	Interfaz Gráfica.	Dato string de 4 -20 caracteres	
<b>Requerimientos de salida</b>	s15t	Prueba de transmisión del dato de profundidad deseada	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 -20 caracteres	

	s16t	Valores cuantificados de las variables medidas.	Máximo 2 personas	20 minutos	Interfaz gráfica	Bits de datos mediante comunicación serial		
--	------	-------------------------------------------------	-------------------	------------	------------------	--------------------------------------------	--	--

Para la realización de esta prueba del componente Bluetooth del computador, se identifica que el componente comunique, envíe y reciba datos correctamente de interfaz a módulo recíprocamente.

*Tabla 31. Plan de pruebas de componente Interfaz Gráfica.*

Requerimiento levantado componente: Interfaz Gráfica	Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
<b>Requerimientos de entrada</b>	e28u	Prueba de recepción de datos	Máximo 2 personas	10 min	Interfaz gráfica	Bits de datos mediante comunicación serial	
<b>Requerimientos de salida</b>	s17u	Prueba visualización valor cuantificado ph(5 y 9)	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Dato String	
	s18u	Prueba visualización valor cuantificado D.O (0 Y 12 mg/L)	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Dato String	
	s19u	Prueba visualización valor cuantificado de temperatura (4y 25°C)	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Dato String	
	s20u	Prueba visualización valor cuantificado profundidad (0 y 2m)	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Dato String	
	s21u	Prueba visualización valor cuantificado de conductividad (15a 1500 µS/cm)	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Dato String	

	s22u	Prueba transmisión dato profundidad deseada por el usuario	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Bits de datos mediante comunicación serial		
--	------	------------------------------------------------------------	-------------------	----------------	------------------	--------------------------------------------	--	--

Para la realización de esta prueba del componente Interfaz gráfica, se identifica que el componente visualice los datos cuantificados de (pH, D.O, profundidad, temperatura y conductividad) y envíe los datos de profundidades deseada.

*Tabla 32. Plan de pruebas de componente Puente H L293D.*

Requerimiento levantado componente: Puente h l293d	Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
<b>Requerimientos de entrada</b>	e29x	Prueba de recepción de señal digital	Máximo 2 personas	10 min	Multímetro Unit ut39c	Señal digital de 0 o 5V	
	e30x	Verificación Voltaje de alimentación	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Unit ut39c	Polarización de 12V	
<b>Requerimientos de salida</b>	s29x	Prueba de transmisión de señal de potencia controlada con señal digital	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Multímetro Unit ut39c	Señal de salida de 12V con 300mA	

Para la realización de esta prueba del componente Puente H L293D, se identifica que el componente reciba una señal de control digital y a su vez envíe una señal de potencia con 12V.

*Tabla 33. Plan de pruebas de componente V Energy LiPo.*

Requerimiento levantado componente: V Energy LiPo	Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
<b>Requerimientos de salida</b>	s29w	Prueba de pila para circuito de potencia	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Unit ut39c	Señal de salida de 12V con 300mA	

Para la realización de esta prueba del componente V Energy LiPo, se identifica que el componente entregue un voltaje de 12V.

*Tabla 34. Plan de pruebas de componente Peristaltic Liquid Pump with Silicone Tubing.*

Requerimiento levantado componente :Peristaltic Liquid Pump with Silicone Tubing		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e29v	Prueba de recepción de señal de potencia	Máximo 2 personas	10 min	Multímetro Unit ut39c	Señal de salida de 12V con 300mA		
Requerimientos de salida	s29v	Prueba funcionamiento de motobomba	Máximo 2 personas	10 min máximo.	No Aplica	Recolección de 100mL de agua		

Para la realización de esta prueba del componente Peristaltic Liquid Pump with Silicone Tubing, se identifica que el componente reciba una señal de control digital y a partir de esta funcione la motobomba para el almacenamiento de agua.

## 9.2 Plan de pruebas de subsistemas

Tabla 35. Plan de pruebas del subsistema A.

Requerimiento de subsistema A		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e6	Verificación rango PH (5-9)	Máximo 2 personas	10 min	COD meter and multiparameter bench photometer: HI83099-01 Hanna instruments	mide ph entre 0-14		
	e7	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Unit ut39c	Polarización de 5V		
Requerimientos de salida	s6	Prueba de dato de PH	Máximo 2 personas	45 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 40 caracteres mediante comunicación UART		

Para la realización de esta prueba del subsistema a, se identifica que en la sustancia en la cual se vaya a medir el parámetro de pH, realmente esté dentro del rango estipulado anteriormente en el apartado de requerimientos, y que se obtenga una señal de tipo String en una interfaz como la IDE de arduino correspondiente al valor del ph comparado con el valor real entregado por el PH-metro.

Tabla 36. Plan de pruebas del subsistema B.

Requerimiento de subsistema B		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e8	Verificación rango de D.O (0-12 mg/l)	Máximo 2 personas	10 min	COD meter and multiparameter bench photometer: HI83099-01 Hanna instruments	Mide el nivel de O.D entre 0-100 mg/l		
	e9	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c	Polarización de 5V		
Requerimientos de salida	s7	Prueba de dato de Nivel de oxigenación	Máximo 2 personas	45 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 16 caracteres mediante comunicación UART		

Para la realización de esta prueba del subsistema b, se identifica que en la sustancia en la cual se vaya a medir el parámetro de nivel O.D, realmente esté dentro del rango estipulado anteriormente en el apartado de requerimientos, y que se obtenga una señal de tipo String en una interfaz como la IDE de arduino correspondiente al valor del O.D comparado con el valor real entregado por el sensor de O.D del laboratorio.

Tabla 37. Plan de pruebas del subsistema C.

Requerimiento de subsistema C		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e10	Verificación rango de Temperatura (14-25 °C)	Máximo 2 personas	10 min	Termómetro análogo	Mide el nivel temperatura entre -200- 850°C		
	e11	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c	Polarización de 3.3V a 5V		
Requerimientos de salida	s8	Prueba de dato de Temperatura	Máximo 2 personas	45 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 399 caracteres mediante comunicación UART		

Para la realización de esta prueba del subsistema c, se identifica que en la sustancia en la cual se vaya a medir el parámetro de temperatura, realmente esté dentro del rango estipulado anteriormente en el apartado de requerimientos, y que se obtenga una señal de tipo String en una interfaz como la IDE de arduino correspondiente al valor de temperatura comparado con el valor real entregado por el termómetro del laboratorio.

*Tabla 38. Plan de pruebas del subsistema D.*

Requerimiento de subsistema D		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e12	Verificación rango de presión (0-121 Kpa)	Máximo 2 personas	10 min	Flexómetro	Mide el nivel presión de 0-689 Kpa		
	e13	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c	Polarización de 3.3V a 5V		
Requerimientos de salida	s9	Medición de salida análoga del sensor	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Multímetro-Osciloscopio	Voltajes entre (0.5-4.5 V)		

Para la realización de esta prueba del subsistema d, se identifica que en el cuerpo hídrico en el cual se vaya a medir el parámetro de profundidad, realmente esté dentro del rango estipulado anteriormente en el apartado de requerimientos, y que se obtenga una señal de tipo String en una interfaz como la IDE de arduino correspondiente al valor de profundidad comparado con el valor real entregado por el sensor de profundidad del laboratorio.

*Tabla 39. Plan de pruebas del subsistema E.*

Requerimiento de subsistema E		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e14	Verificación rango de conductividad (15-1500 $\mu$ S/cm)	Máximo 2 personas	10 min	COD meter and multiparameter bench photometer: HI83099-01 Hanna instruments	Mide conductividad entre 5-20000 $\mu$ S/cm		
	e15	Verificación Voltaje de alimentación.	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c	Polarización de 3.3V a 5V		

<b>Requerimientos de salida</b>	s10	Prueba de dato de Conductividad	Máximo 2 personas	45 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 40 caracteres mediante comunicación UART		
---------------------------------	-----	---------------------------------	-------------------	----------------	-------------------------------	-------------------------------------------------------------	--	--

Para la realización de esta prueba del subsistema e, se identifica que en la sustancia en la cual se vaya a medir el parámetro de conductividad, realmente esté dentro del rango estipulado anteriormente en el apartado de requerimientos, y que se obtenga una señal de tipo String en una interfaz como la IDE de arduino correspondiente al valor de la conductividad comparado con el valor real entregado por el sensor de conductividad del laboratorio.

*Tabla 40. Plan de pruebas del subsistema F.*

Requerimiento de subsistema F		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
<b>Requerimientos de entrada</b>	e16	Medición de dato de dato de Ph	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 40 caracteres mediante comunicación UART valor de ph entre 5-9.		
	e17	Medición de dato de dato de O.D.	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 16 caracteres mediante comunicación UART valor de O.D entre 0-12 mg/L.		
	e18	Medición de dato de dato de temperatura.	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 399 caracteres mediante comunicación UART valor de temperatura entre 14-25 °C.		
	e19	Lectura análoga de parámetro de presión	Máximo 2 personas	20 min máximo.	IDE de Arduino	Entradas análogas de 0 a 5V		
	e20	Medición de dato de dato	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 a 40 caracteres		

		de conductividad				mediante comunicación UART valor de conductividad entre 15-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ .		
	e21	Lectura de dato de profundidad desde interfaz.	Máximo 2 personas	20 min máximo.	IDE de Arduino.	Dato string de 4 a 20 caracteres mediante comunicación UART del valor de profundidad.		
	e22	Verificación Voltaje de alimentación	Máximo 2 personas	5 min máximo.	Multímetro Uni-t ut39c	Polarización de 5V		
<b>Requerimientos de salida</b>	s11	Prueba de envío de datos a interfaz.	Máximo 2 personas	45 min máximo.	Osciloscopio-interfaz	Bits con codificación ascii de lectura de sensores		
	s12	Salidas Digitales	Máximo 2 personas	20 min máximo	Multímetro Uni-t ut39c	Salida digital de 5V por 5 canales diferentes.		

Para la realización de esta prueba del subsistema f, se identifica que el componente procese la información, la envía y reciba correctamente a la interfaz gráfica.

*Tabla 41. Plan de pruebas del subsistema G.*

Requerimiento de subsistema G		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
<b>Requerimientos de entrada</b>	e23	Prueba de transmisión de datos inalámbricamente.	Máximo 2 personas	90 min máximo.	Osciloscopio	Velocidad de transmisión máxima de 115200 baudios.		
	e24	Prueba de la lectura de la profundidad y distancia de comunicación	Máximo 2 personas	40 min máximo.	IDE de Arduino-metro	Dato string de 4 a 20 caracteres mediante comunicación UART del valor de profundidad.		

<b>Requerimientos de salida</b>	s13	Prueba de transmisión de datos inalámbricamente.	Máximo 2 personas	45 min máximo.	IDE de arduino e interfaz gráfica	Bits con codificación ascii de lectura de sensores		
	s14	Prueba de transmisión de datos a microcontrolador	Máximo 2 personas	30 min máximo	Arduino Mega (Outputs) y PC Lenovo 520S	Dato string a 9600 bauds comunicación serial		

Para la realización de esta prueba subsistema G, se identifica que el subsistema comunique, envíe y reciba datos correctamente de módulo a interfaz recíprocamente.

*Tabla 42. Plan de pruebas del subsistema H.*

Requerimiento de subsistema H		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
<b>Requerimientos de entrada</b>	e25	Prueba de recepción de datos de la variables .	Máximo 2 personas	10 min	Interfaz Gráfica.	Mide el nivel de O.D entre 0-100 mg/l		
	e26	Prueba de lectura de datos de la profundidad	Máximo 2 personas	15 min	Interfaz Gráfica.	Dato string de 4 -20 caracteres		
<b>Requerimientos de salida</b>	s15	Prueba de transmisión del dato de profundidad deseada	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Arduino Mega y PC Lenovo 520S	Dato string de 4 -20 caracteres		
	s16	Valores cuantificados de las variables medidas.	Máximo 2 personas	20 minutos	Interfaz gráfica	Bits de datos mediante comunicación serial		

Para la realización de esta prueba subsistema H, se identifica que el subsistema comunique, envíe y reciba datos correctamente de módulo a interfaz recíprocamente.

*Tabla 43. Plan de pruebas del subsistema I.*

Requerimiento levantado subsistema I	Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento

<b>Requerimientos de entrada</b>	e27	Prueba de recepción de datos	Máximo 2 personas	10 min	Interfaz gráfica	Bits de datos mediante comunicación serial		
<b>Requerimientos de salida</b>	s17	Prueba visualización valor cuantificado ph(5 y 9)	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Dato String		
	s18	Prueba visualización valor cuantificado D.O (0 Y 12 mg/L)	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Dato String		
	s19	Prueba visualización valor cuantificado de temperatura (4y 25°C)	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Dato String		
	s20	Prueba visualización valor cuantificado profundidad (0 y 2m)	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Dato String		
	s21	Prueba visualización valor cuantificado de conductividad( 15a 1500 $\mu$ S/cm)	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Dato String		
	s22	Prueba transmisión dato profundidad deseada por el usuario	Máximo 2 personas	10 min máximo.	Interfaz gráfica	Bits de datos mediante comunicación serial		

Para la realización de esta prueba del subsistema I, se identifica que el subsistema visualice los datos cuantificados de (pH, D.O, profundidad, temperatura y conductividad) y envíe los datos de profundidades deseada.

*Tabla 44. Plan de pruebas del subsistema J.*

Requerimiento de subsistema J		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada	e25	Prueba de recepción de señal digital	Máximo 2 personas	10 min	Multímetro Unit ut39c	Señal digital de 0 o 5V		
Requerimientos de salida	s15	Prueba funcionamiento de motobomba	Máximo 2 personas	10 min máximo.	No Aplica	Recolección de 100mL de agua		

Para la realización de esta prueba subsistema J, se identifica que el subsistema almacene correctamente las 5 muestras de agua.

### 9.3 Plan de pruebas de integración

Tabla 45. Plan de pruebas del subsistema H.

PLAN DE PRUEBAS DEL SISTEMA		Nombre de la prueba	Cantidad de personas	Tiempo de duración estimado	Instrumento hw/sw de medición	Datos de ficha técnica	Datos medidos con hw/sw	Porcentaje frente a requerimiento
Requerimientos de entrada del sistema	E1	Verificación rango PH (5-9)	Máximo 2 personas	30 min	COD meter and multiparameter bench photometer: HI83099-01 Hanna instruments	mide ph entre 0-14		
	E2	Verificación rango de D.O (0-12 mg/l)	Máximo 2 personas	30 min	COD meter and multiparameter bench photometer: HI83099-01 Hanna instruments	Mide el nivel de O.D entre 0-100 mg/l		
	E3	Verificación rango de Temperatura (14-25 °C)	Máximo 2 personas	30 min	Termómetro Análogo	Mide el nivel temperatura entre - 200- 850°C		
	E4	Verificación rango de presión (0-121 Kpa)	Máximo 2 personas	30 min	Flexómetro	Mide el nivel presión de 0-689 Kpa		
	E5	Verificación rango de conductividad	Máximo 2 personas	30 min	COD meter and multiparameter bench	Mide conductividad entre 5-		

		(15-1500 $\mu\text{S/cm}$ )			photometer: HI83099-01 Hanna instruments.	20000 $\mu\text{S/cm}$		
<b>Requerimientos de salida del sistema</b>	S1	Prueba valor Cuantificado del parámetro ph entre 5 y 9	Máximo 2 personas	30 min	COD meter and multiparameter bench photometer: HI83099-01 Hanna instruments	Dato string de 4 -20 caracteres		
	S2	Prueba valor Cuantificado del parámetro oxígeno disuelto entre 0 y 12 mg/l	Máximo 2 personas	30 min	COD meter and multiparameter bench photometer: HI83099-01 Hanna instruments	Dato string de 4 -20 caracteres		
	S3	Prueba valor Cuantificado del parámetro de la temperatura entre 4 y 25°C	Máximo 2 personas	30 min	Termómetro análogo	Dato string de 4 -20 caracteres		
	S4	Prueba valor Cuantificado del parámetro de profundidad entre 0 y 2m	Máximo 2 personas	30 min	Flexómetro	Dato string de 4 -20 caracteres		
	S5	Prueba valor Cuantificado del parámetro de conductividad del agua entre 15a 1500 $\mu\text{S/cm}$	Máximo 2 personas	30 min	COD meter and multiparameter bench photometer: HI83099-01 Hanna instruments.	Dato string de 4 -20 caracteres		

Para la realización de esta prueba subsistema H, se identifica que el subsistema comunique, envíe y reciba datos correctamente de módulo a interfaz recíprocamente.

## 10 DISEÑO INDUSTRIAL

### 10.1 Conceptualización y definición de diseño.

#### 10.1.1 Análisis de contexto.

Las pruebas de laboratorio de los prototipos se realizarán en ambientes controlados, donde se emulará diferentes tipos ambientes en los cuales se evidencie la variabilidad de los

parámetros físico-químicos del agua, entre los rangos permisibles para nuestro proyecto se contempla:

- El ph podrá variar entre 5 y 9.
- La temperatura podrá variar entre 4 y 24 °C.
- Los niveles de oxígeno disuelto estarán en el rango de 5 mg/L a 12 mg/L de concentración.
- El nivel de profundidad máximo será de 1m.

El contenedor en donde se llevarán a cabo las pruebas deberá contar como mínimo con las siguientes características:

- Dimensiones: Altura: 100cm, Ancho: 150cm, Largo:150 cm
- Material transparente.

La medición de los valores de los parámetros físicos-químicos deben ser visualizados por medio de una interfaz de usuario, proporcionando la posibilidad de interacción bidireccional de datos, permitiendo el control remoto del sistema de recolección de muestras.

La prueba final del prototipo se realizará en un ambiente controlado, sin embargo, para comparar los datos tomados con el módulo, se procederá a realizar pruebas de cada sensor en comparación a las sustancias de testeo otorgadas por el fabricante de Atlas Scientific.

### *10.1.2 Casos de Uso.*

#### *10.1.2.1 Casos Típicos.*

1. El usuario deberá prender el módulo mediante un accionador marcado con el nombre ON.
2. El usuario deberá ingresar a la interfaz, y vincular el módulo de medición con la computadora.
3. Inmediatamente enlazado los sistemas, el usuario podrá ingresar el módulo al agua y podrá visualizar datos de los parámetros físico-químicos (ph, nivel de oxígeno disuelto, temperatura, profundidad y ORP) mediante la interfaz.
4. Mediante la interfaz, el usuario podrá elegir las profundidades en las cuales el módulo de toma de muestras deberá activarse para recolectarlas.
5. Luego de recolectadas las muestras el usuario podrá obtener las muestras recolectadas mediante el accionamiento de accionadores en la interfaz.

6. El usuario podrá poner a cargar las baterías, retirando los tapones de protección del módulo; mediante un cargador conectado a la toma corriente.

#### *10.1.2.2 Casos Atípicos.*

1. En caso de que se desvincule la transmisión de datos entre el pc y el módulo, este deberá dar un indicador en la interfaz de usuario.

#### *10.1.3 Requerimientos Industriales.*

##### *10.1.3.1 Requerimientos de uso y función.*

###### *10.1.3.1.1 Requerimientos de uso.*

- Practicidad:
  - El usuario deberá emparejar inalámbricamente los módulos de medición y toma de muestras, con el computador en el cual se encuentra la interfaz gráfica.
  - El sistema contará con una interfaz gráfica que permite la comunicación entre el usuario y el módulo de medición permitiendo, la visualización de los parámetros y el ingreso de órdenes para la recolección de muestras.
  - La interfaz de usuario será intuitiva y fácil de usar.
- Conveniencia:
  - El módulo de toma de muestras no actuará si el módulo no está dentro del cuerpo hídrico.
  - Para extraer las muestras recolectadas por el módulo de toma de muestras, el usuario deberá interactuar con botones ubicados en la interfaz gráfica.
- Seguridad:
  - El sistema permite una comunicación inalámbrica máxima de 10 m entre el usuario y el módulo por medio de la interfaz, brindando al usuario seguridad y facilidad en la medición al no tener que ingresar al agua para dicho procedimiento.

- El sistema deberá tener una boya, para evitar que en caso de filtraciones de agua; el sistema se hunda.
- El módulo sólo podrá ser sumergido en cuerpos hídricos que cumplan con estándares físico químicos permisibles para la salud humana.
- Mantenimiento:
  - Es necesario que los sensores del sistema sean recalibrados cada año, con el fin de que los datos que sean tomados después de este tiempo sigan siendo exactos.
  - El usuario deberá cubrir los sensores con recipientes que contienen líquidos especializados para el mantenimiento de cada uno de ellos, siempre que el módulo se encuentre fuera del agua; con el fin de evitar daños.
  - El usuario podrá acceder a cargar las baterías mediante un puerto ubicado en el exterior del módulo, protegido mediante un empaque que permite su impermeabilización.
- Reparación:
  - En caso de daño de batería, el usuario podrá acceder a ella mediante la apertura de una tapa en el módulo, para poder ser intercambiada por otra que cumpla las mismas especificaciones.
  - En caso de daño del sistema de comunicación inalámbrica ubicado en la boya; el usuario podrá acceder a este mediante la apertura de una tapa, para intercambiarlo por otro que cumpla con las mismas especificaciones técnicas.
- Manipulación:
  - El sistema de toma de muestras de agua, será manipulado por el usuario mediante el dato de la profundidad deseada ingresado en la interfaz de usuario.
- Antropometría:
  - Los módulos de medición y toma de muestras, funcionaran a una distancia máxima de 10m de la posición del usuario.
- Ergonomía:

- La interfaz de usuario será minimalista, compacta, entendible y fácil de usar para el usuario.
- Percepción:
  - Los sensores del sistema serán externos y visibles al usuario, debido que, para el funcionamiento de estos, deben estar en contacto directo con el agua.
  - Al momento de la sumersión de los módulos, el usuario tendrá la percepción de la ubicación de dichos sistemas, mediante un sistema de flotabilidad; en este caso la boya.
- Transporte:
  - Los módulos de medición y toma de muestras deberán ser pequeños y compactos.

#### *10.1.3.1.2 Requerimientos de función.*

- Mecanismos:
  - El mecanismo de recolección de muestras funcionará mediante el método de succión generada por una motobomba activada eléctricamente, almacenando 100 ml de agua.
- Confiabilidad:
  - El módulo de medición entregará resultados 100% confiables, si se siguen los requisitos necesarios para conservar el buen estado de los sensores implicados, junto con un buen uso dentro del súper-sistema.
  - La funcionalidad de los módulos será muy confiable, siempre y cuando el usuario siga los lineamientos establecidos en el manual, correspondientes al uso adecuado del sistema.
- Versatilidad:
  - El sistema podrá ser implementado en distintos cuerpos hídricos como lagos, lagunas, peceras; que cumplan con los rangos de parámetros físico-químicos estipulados en los requerimientos del sistema.
- Resistencia:
  - El sistema soportará una presión de 125 Kpa debido a la profundidad máxima en la que trabajará el sistema (2m).

- Acabado:
  - Se implementará técnicas de cortes computarizados, para obtener la mayor precisión posible en el proceso de realización de las piezas.

### *10.1.3.2 Requerimientos de producción.*

#### *10.1.3.2.1 De estructura.*

- Número de componentes:
  - El módulo de toma de muestras contará con 5 bombas peristálticas junto con sus recipientes, las cuales se encargarán de la recolección y almacenamiento de dichas muestras.
  - El módulo de medición contará con los 5 sensores necesarios para la obtención de los parámetros físico-químicos.
  - El módulo de comunicación contará con un sistema de flotabilidad (boya).
- Carcasa:
  - Tanto el módulo de medición como el de recolección de muestras tendrán una carcasa de forma cilíndrica resistente al agua y presión aproximada de 121 Kpa.
- Unión:
  - Los módulos contarán con una unión pasiva para poder realizar la integración al prototipo general.
- Centro de gravedad:
  - El sistema de boya otorgará a los módulos la flotabilidad necesaria para que no se excedan de la profundidad máxima deseada (2m).
- Estructuralidad:
  - El sistema se compondrá de 3 estructuras principales:
    - Módulo de medición
    - Módulo de toma de muestras.
    - Sistema de flotabilidad y comunicación (boya).

#### *10.1.3.2.2 Técnicos productivos.*

- Modo de producción:

- El principal modo de producción será artesanal, con la ayuda de producción manufacturada para la realización de cortes necesarios, para la producción de piezas especiales.
- Estandarización:
  - Los dos módulos (medición y toma de muestras) tendrán la misma forma externa pero diferente configuración para su correcto funcionamiento.
- Prefabricación:
  - Se implementará un sistema de flotabilidad prefabricado por una empresa especializada en el tema.
- Materias primas:
  - Se implementará en la carcasa de los módulos el material de Poli cloruro de Vinilo (PVC), el cual tiene las siguientes características:
    - No se oxida ni se corroe.
    - Alta resistencia al choque.
    - Tiene una densidad de 1.42 gr/cm<sup>3</sup>.
    - Es impermeable a gases y líquidos.
    - Resistente a las acciones de hongos y bacterias.
- Costo de Producción:
  - El sistema mecánico tendrá un valor de 1 a 2 millones de pesos colombianos aproximadamente.

#### *10.1.3.2.3 Legales y Normativos.*

- Patente:
  - El Proyecto contará con una patente relacionado con los sistemas de recolección, medición y navegabilidad del prototipo.
- Norma:
  - El proyecto se basará en la norma "Norsok Standard U-102", esto en relación a los componentes básicos que constituyen un ROV (Remote Operated Vehicle).

#### *10.1.3.3 Requerimientos estéticos y de identificación.*

##### *10.1.3.3.1 Formales:*

- Estilo:
  - Acabado industrial, que permitirá la impermeabilización de cada uno de los módulos.
  - La unión de los módulos tendrá apariencia biomimética de una serpiente.
- Unidad:
  - El sistema será fácil de reproducir, para en un futuro realizar una línea de producción.
  - Cada uno de los módulos serán proporcionales y semejantes en las características físicas como la longitud.
  - Cada uno de los módulos tendrá la simplicidad de forma máxima posible (módulos cilíndricos).
- Interés:
  - Se podrá unir los módulos mediante acoples mecánicos pasivos.
  - La unión de los módulos tendrá apariencia biomimética de una serpiente.
  - Cada uno de los módulos operarán bajo el agua.
  - El robot tendrá una configuración modular.
- Equilibrio:
  - El robot tendrá una simetría en cada uno de sus módulos, en la cual todos serán de forma cilíndrica.
- Superficie:
  - Cada uno de los módulos tendrá una estructura lisa y color blanco.

#### *10.1.3.3.2 Identificación:*

- Impresión:
  - Cada módulo tendrá etiquetada la forma en la cual se deberán unir a los otros módulos.
- Ubicación:
  - Cada módulo tendrá una posición específica dentro del prototipo general.
- Ubicación:

- En el módulo de medición, habrá etiquetas para la identificación de cada uno de los sensores que hace parte de este módulo.
- Para cada módulo, habrá una etiqueta que identifique la conexión correspondiente a la carga de la batería.
- Para el módulo de toma de muestras, habrá etiquetas para la identificación de cada una de las muestras (de 1 a 5 muestras).

#### 10.1.4 Materiales, procesos y normativas.

##### 10.1.4.1 Materiales.

Tabla 46. Selección de material para carcasa.

<b>SELECCIÓN DE MATERIALES PARA CARCASA</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
PVC	Densidad de 1.42 $gr/cm^3$  Proviene del petróleo bruto (43%) y de la sal (57%)	No se oxida ni se corroe  Alta resistencia al choque  Resistente a hongos y bacterias  Bajo Costo	Es muy rígido para su manipulación. Altamente inflamable.
Fibra de Carbón	Tolera grandes temperaturas. Tiene un módulo de elasticidad bastante alto.	Propiedades mecánicas similares al acero y ligera como la madera o el plástico. Alta flexibilidad.	Su costo es demasiado elevado, debido a la complicación de su elaboración.
Aluminio	Tiene un punto de ebullición bastante alto. Tiene una densidad de 2.7 g/ml.	Peso Ligero  Resistente ante la corrosión	Tiene un costo elevado en comparación al acero. Requiere procesos especiales para ser soldado.

Según los datos de la tabla 13 se eligió trabajar la estructura externa de los módulos (carcasa) en PVC, debido a que se ajusta más a los requerimientos establecidos anteriormente.

#### 10.1.4.2 Procesos.

Para la realización del primer prototipo de los módulos de medición y toma de muestras, se tiene en mente realizar el maquinado como el corte de los tubos de pvc a una longitud específica, el acople correspondiente a la estructura de los sensores que irá ubicado alrededor de la estructura (carcasa) del módulo de medición, el acople de cables y finalmente la realización de las piezas necesarias para el desarrollo del acople mecánico pasivo encargado de unir los módulos.

A continuación, se realizó un presupuesto global de tiempos y presupuestos necesarios para la realización del proyecto.

*Tabla 47. Presupuesto para realización de proyecto.*

<b>Tareas del proyecto</b>	<b>Horas semanales</b>	<b>Costo Material</b>	<b>Otro Costos</b>	<b>Total por tarea</b>
<b>Compra e investigación de componentes electrónicos</b>	2	\$2'500.000	\$500.000	\$3'000.000
<b>Desarrollo de la electrónica</b>	4	-	-	-
<b>Compra e investigación de materiales mecánicos.</b>	2	\$1'500.000	\$500.000	\$2'000.000
<b>Compra, investigación y desarrollo del módulo de comunicación inalámbrica</b>	3	-	-	-
<b>Desarrollo del</b>	5	-	-	-

<b>software de control de los módulos</b>				
<b>Subtotal</b>	16	\$4'000.000	\$1'000.000	\$5'000.000

### 10.1.4.3 Normativas.

Para el desarrollo del Snake Robotic System For Underwater Testing and Inspection, se tiene en cuenta la norma internacional *Norsok Standard U-102*, en la cual se explica las normas mínimas relacionadas con el desarrollo de un vehículo operado remotamente ROV.

Teniendo en cuenta este documento se esclarece el tipo de robot que se desarrollara en este proyecto; en donde se le considera un ROV, el cual se define como un equipo utilizado en el agua con la capacidad de observar el entorno y posicionarse a control remoto desde la superficie a través de un cable [15].

Los sistemas que hacen parte de un ROV comprenden un sistema de manejo, un sistema de control de superficie y equipos asociados a una funcionalidad específica [15]. Dentro de las funcionalidades esperadas del prototipo a desarrollar se encuentra que el robot deberá ser capaz de llevar sensores adicionales... Los vehículos de clase II deberían poder funcionar sin pérdida de la función original mientras portan al menos dos sensores adicionales [15]; según esta norma el robot está catalogado como un ROV de clase 2.

## 10.2 Planificación de la producción.

### 10.2.1 Alternativas de configuración.

#### 10.2.1.1 Diseño 1 módulo de medición.

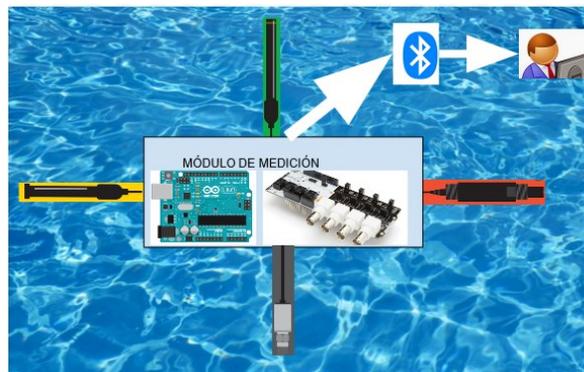


Figura 49. Diseño 1 de módulo de medición.

Para este diseño se integra tecnologías en el módulo de medición, se incluyen sensores de pH, presión, nivel de oxigenación y conductividad del proveedor de atlas instrument, estos sensores previamente estarán enlazados al microcontrolador arduino uno; el cual se encargará del tratamiento de datos, mediante un módulo inalámbrico de bluetooth el sistema enviará datos a una interfaz de usuario situada a una distancia máxima de 10 metros.



Figura 50. Kit de sensores de Atlas Instrument.

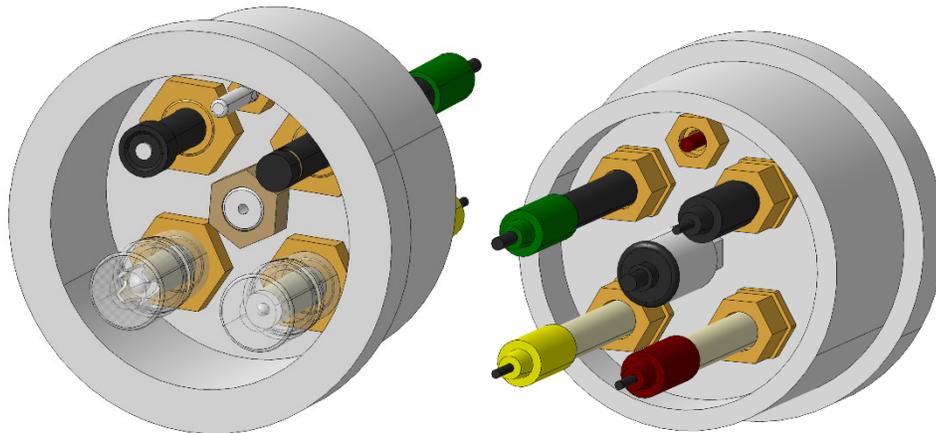


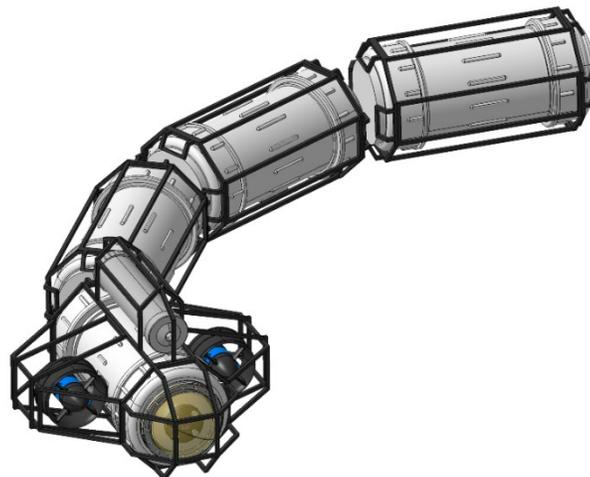
Figura 51. CAD de diseño fundamental de Distribución de sensores.



*Figura 52. CAD de diseño fundamental de Distribución de bombas peristálticas*



*Figura 53. CAD de diseño de estructura de módulo de medición.  
CAD de diseño fundamental de acoplamiento de módulos .*



*Figura 54. CAD de diseño fundamental de acoplamiento de módulos .*



Figura 55. Sistema de flotabilidad Elegido

10.2.1.2 Diseño 2 módulo de medición.

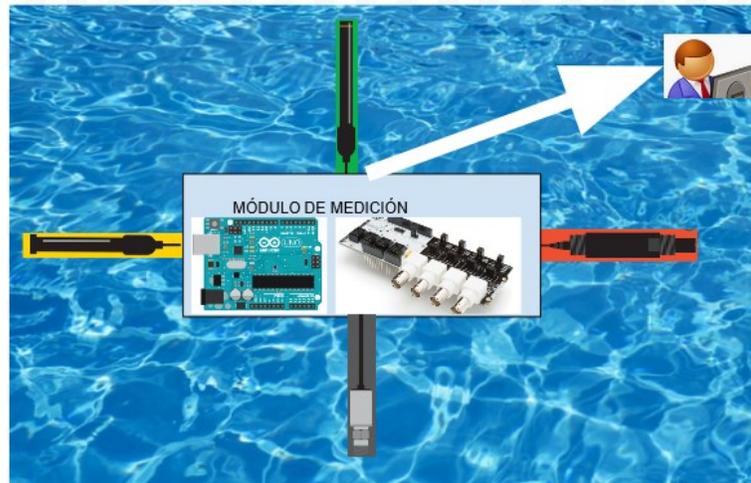


Figura 56. Diseño 2 de módulo de medición.

Este diseño es algo similar al diseño 1, la diferencia es que la transmisión de datos es de forma alámbrica, esto no cumple con los requerimientos establecidos anteriormente en donde se pide comunicación de forma inalámbrica

10.2.2 Evaluación y presentación de la alternativa a desarrollar

Tabla 48. Cuadro de evaluación de alternativas de configuración.

ALTERNATIVA	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		PESO
	EVAL	POND	EVAL	POND	
Funcionalidad	5	1	3	0.6	20%

<b>Operatividad</b>	4	1.2	2	0.6	30%
<b>Instalación</b>	4	0.2	4	0.2	5%
<b>Mantenimiento</b>	4	0.4	4	0.4	10%
<b>Materiales</b>	5	0.75	5	0.75	15%
<b>Eficiencia</b>	4	0.8	2	0.4	20%
<b>Totales</b>		<b>4.35</b>		2.95	100%

Se decidió escoger la alternativa 1, especialmente por su operatividad y eficiencia, ya que con al tener un diseño con una boya sobre la superficie nos permite implementar un sistema de comunicación inalámbrica, lo que ayuda a tener mayor alcance entre interfaz y módulo a menor costo.

### 10.2.3 Diseño Detallado

**10.2.3.1 Aplicativo:** La interfaz de usuario que se encargará de mostrar y registrar los datos sensados del Snake robot y dar la orden para la recolectar las muestras de agua tendrá un diseño básico en el cual el usuario se podrá mover por 6 pestañas de la interfaz. La pestaña Home es la primera pestaña que se cargará al ejecutar el programa, ahí el usuario se encontrará con una descripción general del proyecto.



Figura 57. Diseño de pestaña Home

La segunda pestaña en orden de ejecución debe ser la pestaña de ingresar usuario, en esta pestaña el usuario deberá registrar el nombre, el id y el lugar en que realizará las mediciones y darle al botón ingresar información, esto con el fin de generar un reporte individual donde se especifique dichos datos.

The image shows a web browser window with a single tab titled 'Form1'. The browser's address bar and menu bar are visible, with options like 'Ingresar Usuario', 'Conexion', 'Opcion de Datos', 'Recoleccion de Muestras', 'Ayuda', and 'Home'. The main content area displays the 'INGRESAR DATOS DEL USUARIO' form. On the left side of the form is the logo of 'UNIVERSIDAD EL BOSQUE'. The form itself has three input fields: 'NOMBRE DE USUARIO:', 'NUMERO DE IDENTIFICACION:', and 'LUGAR DE LA MEDICION:'. Below these fields is a button labeled 'Ingresar Informacion'.

*Figura 58. Diseño de ingreso de usuario.*

Una vez ingresado los datos de usuario en la pestaña Ingresar Usuario del aplicativo, la siguiente pestaña donde se moverá será la opción Conexión, en esta pestaña el usuario se encontrará con un botón de buscar que se encarga de cargar las conexiones seriales que se encuentren en el computador en una lista desplegable para ser seleccionado por él; en otra lista desplegable estará las velocidades comunes con las que se configurara la comunicación, por defecto se cargará y estará seleccionada la velocidad con la que funcionará en el proyecto (115200 bauds), y por último tendrá un único botón de conectar y desconectar, el cual comenzará con el nombre conectar para realizar la comunicación serial con el bluetooth y una vez conectado cambiará de nombre a desconectar ofreciendo la opción de desconectar el enlace.



Figura 59. Diseño de pestaña de conexión.

Una vez la conexión establecida mediante la pestaña Conexión de la interfaz, se podrá ejecutar las opciones Obtención de datos o Recolección de muestras cuando el usuario desee. En caso de ir a la pestaña Obtención de datos, esta opción estará configurada con un botón de start con el cual se comenzará a capturar los datos y a mostrarlos en una tabla de forma ordenada, tendrá otro botón para parar la lectura, uno para exportar los datos obtenidos a Excel u otro botón con la opción de generar un reporte en pdf de los datos medidos por el robot. Adicional a esto el botón start también se captura la hora y fecha en la que se realizó la medición.

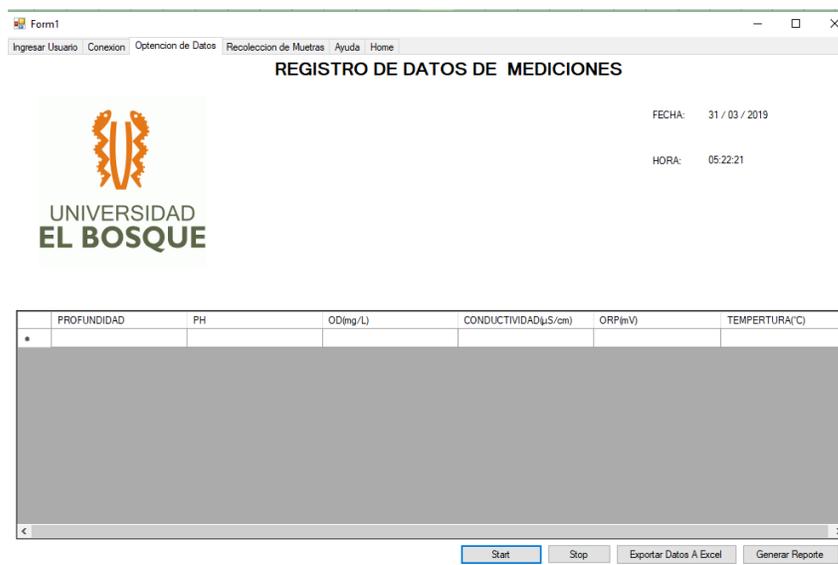


Figura 60. Diseño de tabla de obtención de datos.

Al generar el reporte en pdf este entregará una tabla con los datos leídos, las profundidades donde se tomaron cada muestra, la hora, fecha y el lugar en que se realizó la medición, el nombre e id del usuario.

Reporte de Mediciones y Toma De Muestras El Bosque.

Usuario: Jaime Osorio  
Número de identificación: 101848911  
Fecha: 31 / 03 / 2019  
Hora: 05:26:54

PROFUNDIDAD	PH	OD(mg/L)	CONDUCTIVIDAD(S/cm)	ORP(mV)	TEMPERTURA(°C)
174	112	1023	123.000	123.000	123.000
174	112	1023	123.000	123.000	123.000
174	112	1023	123.000	123.000	123.000
174	113	1023	123.000	123.000	123.000
173	112	1023	123.000	123.000	123.000
174	112	1023	123.000	123.000	123.000
173	112	1023	123.000	123.000	123.000
173	113	1023	123.000	123.000	123.000
173	112	1023	123.000	123.000	123.000
174	113	1023	123.000	123.000	123.000
174	113	1023	123.000	123.000	123.000
173	112	1023	123.000	123.000	123.000
174	113	1023	123.000	123.000	123.000

La Muestra de Agua N°1 Se Recolecto a la profundidad de:  
La Muestra de Agua N°2 Se Recolecto a la profundidad de:  
La Muestra de Agua N°3 Se Recolecto a la profundidad de:

Figura 61. Diseño de reporte generado.

La última opción funcional con la que cuenta el aplicativo es que el usuario pueda dar la orden mediante unos botones para que el sistema robótico sumergible haga la recolección de las respectivas recolecciones de muestras mostrando en la interfaz la profundidad en la que se realizó.



*Figura 62. Diseño de pestaña de Recolección de muestras de agua.*

### 10.2.3.2 Selección de Materiales.

Se denomina estructura del módulo, al cilindro que va a contener la tecnología y tendrá sujeto los sensores además de proteger los componentes internos del contacto con el agua.

A continuación, se muestra en la figura 43 la estructura principal, en la cual se señala los materiales en los que será realizada.



*Figura 63. Estructura básica del diseño de módulos de medición.*

- **Parte 1:** Tubo PVC Tipo Dresser circular de 4 pulgadas de diámetro interno, 0,6 cm de grosor y 24cm de largo, utilizado en el cuerpo de los módulos.

Tubería Alcantarillado PTM			De	e
CÓDIGO	SERIE	DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR	ESPESOR DE PARED
		mm	mm	mm
2A25160	25	160	160.1	3.2
2A25200	25	200	200.1	4.0
2A25250	25	250	250.1	5.0
2A25315	25	315	315.1	6.3
2A25355	25	355	355.2	7.1
2A25400	25	400	400.2	8.0
2A25450	25	450	450.2	8.0
2A25500	25	500	500.2	10.0
2A25630	25	630	630.2	12.5
2A20110	20	110	110.0	2.8
2A20160	20	160	160.1	3.0
2A20200	20	200	200.1	4.9
2A20250	20	250	250.1	5.2
2A20315	20	315	315.1	7.9
2A20355	20	355	355.2	8.9
2A20400	20	400	400.2	10.0
2A20450	20	450	450.2	11.2
2A20500	20	500	500.2	12.4
2A20630	20	630	630.3	15.7
2A16110	16.5	110	110.0	3.3
2A16160	16.5	160	160.1	4.8
2A16200	16.5	200	200.1	6.0
2A16250	16.5	250	250.1	7.4
2A16315	16.5	315	315.1	9.4
2A16355	16.5	355	355.2	10.6
2A16400	16.5	400	400.2	11.9
2A16450	16.5	450	450.2	13.4
2A16500	16.5	500	500.2	14.9
2A16630	16.5	630	630.3	18.7

Figura 64. Ficha técnica de material de PVC.

### 10.2.3.3 Selección de componentes mecánicos.

#### 10.2.3.3.1 Acople mecánico para tapas de los módulos.

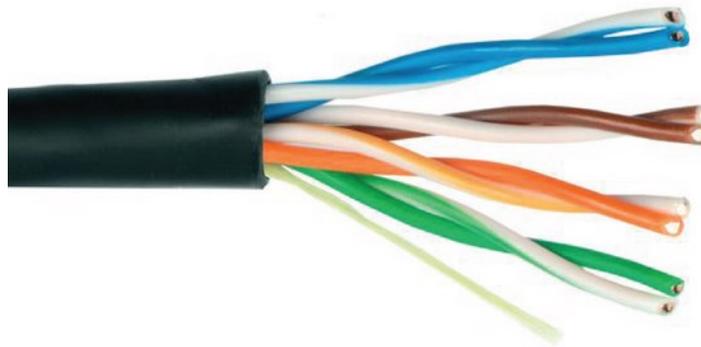
A continuación, se muestra la selección del componente de un acople de caucho, que permite permeabilidad en las tapas de cada uno de los módulos.



Figura 65. Empaques de tubo Dresser de 4".

#### 10.2.3.3.2 Cable UTP.

A continuación, se muestra la selección del cable que conectará la boya (módulo Bluetooth) con el módulo de los sensores y el módulo de toma muestras.



*Figura 66. Cable UTP categoría 6, 4 Hilos*

#### *10.2.3.3.3 Almacenador de muestras.*

A continuación, se muestra la selección del sistema de almacenamiento de muestras de agua, en nuestro caso seleccionamos 7 bolsas de suero de 50 ml y una 200 ml.



*Figura 67. Bolsas seleccionadas para recolección de muestras.*

#### *10.2.3.4 Definición de componentes principales.*

##### *10.2.3.4.1 Estructura de módulo de medición.*

A continuación, se muestra una infografía que explica la implementación de los principales materiales dentro del módulo de medición.

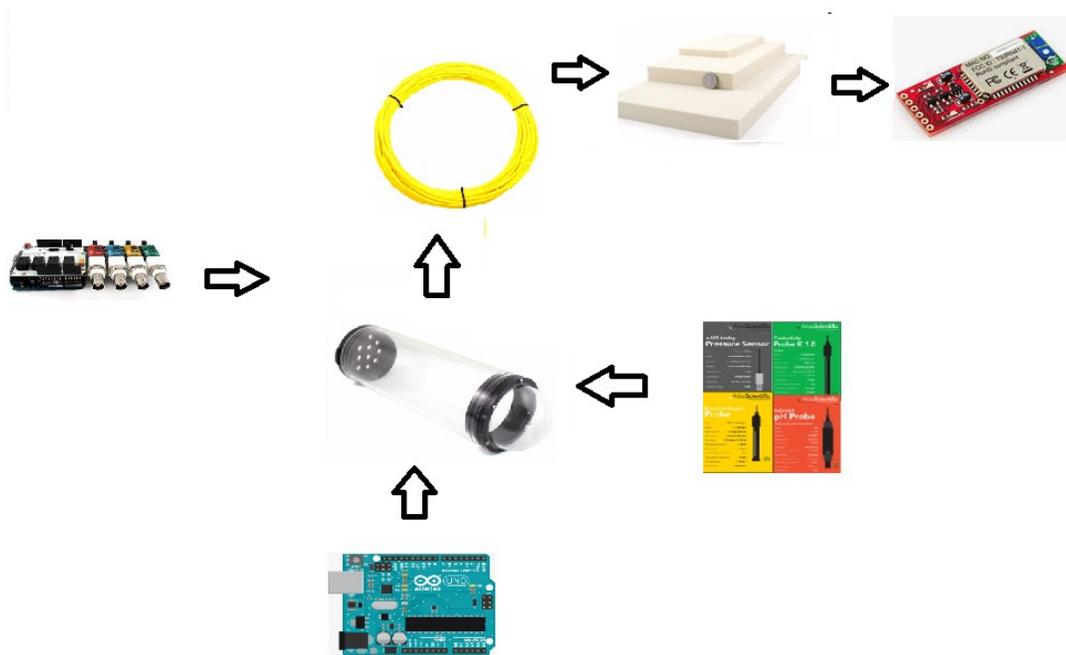


Figura 68. Infografía de los materiales principales del módulo de medición.

- **Estructura principal de los módulos:**

La estructura principal está compuesta por un tubo mecanizado de PVC, con acoples de caucho adaptados a las tapas de acrílico de 1.5cm de espesor, las cuales irán atornilladas al cuerpo de la estructura mediante tornillos de acero inoxidable. En la tapa de acrílico se encontrará además los acoples mecánicos necesarios para el posicionamiento de cada uno de los sensores. En el cuerpo cilíndrico de la estructura, se encontrará otros acoples mecánicos para la colocación del switch, el conector USB y además de la adaptación de un penetrador específico para el paso de los cables desde el interior del módulo hacia el exterior. Cada uno de los acoples mecánicos mencionados deben ser impermeables, es decir no permitan el flujo de agua hacia el interior de la estructura donde se encuentra el desarrollo de la electrónica.

- **Joints:**

Para la unión mecánica de los módulos, se implementará una juntura (Joint) de acople mecánico pasivo, el cual le otorgará movimiento y unión a cada uno de los módulos pertenecientes al Snake.

- **Estructura de flotabilidad para sistema de comunicación:**

Esta estructura debe tener una densidad tal que mantenga la flotabilidad de los módulos a una profundidad máxima de 2 metros; de igual manera contiene el sistema de comunicación inalámbrico, conectado mediante el cable *fathom R.O.V Tether R2* al módulo de medición.

#### 10.2.3.4.2 Estructura de módulo de toma de muestras.

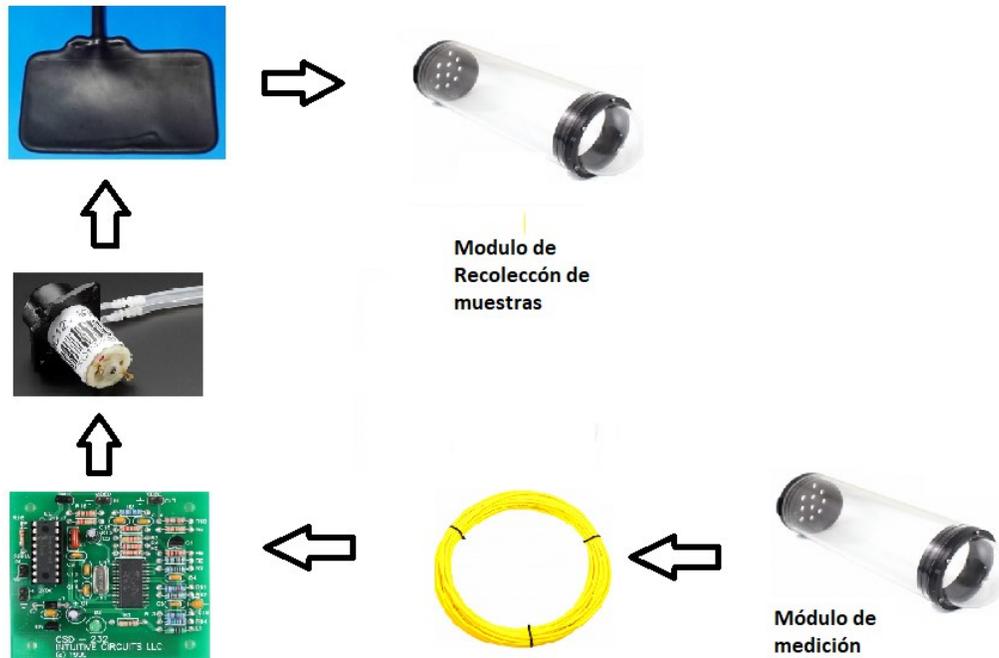


Figura 69. Infografía de los materiales principales del módulo de toma de muestras.

- **Estructura del sistema para la recolección de muestras:**

Esta estructura debe adaptarse a la estructura principal tanto mecánica como eléctricamente, ya que el sistema de control se encuentra en dicho módulo. Por ser un robot modular su estructura física es igual al módulo principal, pero este internamente cuenta con acoples mecánicos pasivo que permite a las bombas peristálticas que se encuentran dentro del módulo entrar en contacto directo con el agua y poder almacenarlas dentro del sistema de almacenamiento *One Tube Ballast Tank Liner*.

- **Estructura del almacenamiento de muestras:**

La estructura *One Tube Ballast Tank Liner*, es un sistema de almacenamiento de aproximadamente 120 ml de agua, totalmente hermético, el cual irá acoplado a la manguera de las motobombas, permitiendo la recolección de forma efectiva de las 5 muestras de agua.

### 10.2.3.5 *Aplicación de normativas.*

El prototipo de los módulos debe cumplir con la norma IEC 60529, la cual establece cómo clasificar los grados de protección proporcionados por las estructuras que contienen los componentes eléctricos.

“...el código IP indica el nivel de protección contra el acceso de partículas peligrosas al interno del mismo contenedor, así como contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, entre los cuales, el polvo y el agua.” [16].

Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, entre los cuales el polvo:

IP 0x: Ninguna protección

IP 1x: Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 50mm

IP 2x: Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 12mm

IP 3x: Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 2,5mm

IP 4x: Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones superiores a 1mm

IP 5x: Aparatos protegidos contra el polvo

IP 6x: Aparatos completamente protegidos contra el polvo

Segunda cifra característica – Protección contra la penetración dañina del agua:

IP x0: Ninguna protección

IP x1: Aparato protegido contra la caída vertical de gotas de agua

IP x2: Aparato protegido contra la caída de gotas de agua con inclinación máxima de 15°

IP x3: Aparato protegido contra la lluvia con caída hasta 60° de inclinación

IP x4: Aparato protegido contra el rociado de agua

IP x5: Aparato protegido contra los chorros de agua

IP x6: Aparato protegido contra las olas y chorros de agua potentes

IP x7: Aparato protegido contra los efectos de la inmersión temporal.

IP x8: Aparato protegido contra los efectos de la sumersión.[16]

De acuerdo a esta norma nuestro sistema debe cumplir con el grado de protección IP-68 o IP-69k, asegurando así la sumersión total del prototipo en un cuerpo hídrico a una distancia máxima de 2 metros.

#### *10.2.3.6 Análisis ergonómico y antropométrico.*

El usuario, interactuará con los módulos mediante una GUI (Guide User Interface) implementada en un ordenador, estará ubicado a una distancia máxima de 10 metros de la posición del sistema robótico.

En esta interfaz el usuario, podrá elegir 5 profundidades diferentes a las cuales desea tomar cada una de las 5 muestras de 100ml de agua; de igual manera se visualizará los datos de las 5 variables (PH, D.O, profundidad, temperatura y conductividad) entregadas por el módulo de medición.

#### *10.2.4 Implementación- producción.*

##### *10.2.4.1 Plan de Implementación.*

Una vez comprado los sensores se procederá a tomar las medidas correspondientes para implementar en un programa CAD, el cual tendrá el diseño fundamental del prototipo, que posteriormente será maquinado en el material PVC.

El proceso de maquinado será realizado con la intervención del director de proyecto, ya que el diseño del prototipo será una creación directa del docente. Se tiene un tiempo estimado que en el proceso de maquinado se demore un aproximadamente de 5 días.

#### *10.3 Documentación.*

##### *10.3.1 Modelo Bidimensionales.*

###### *10.3.1.1 Planos técnicos.*

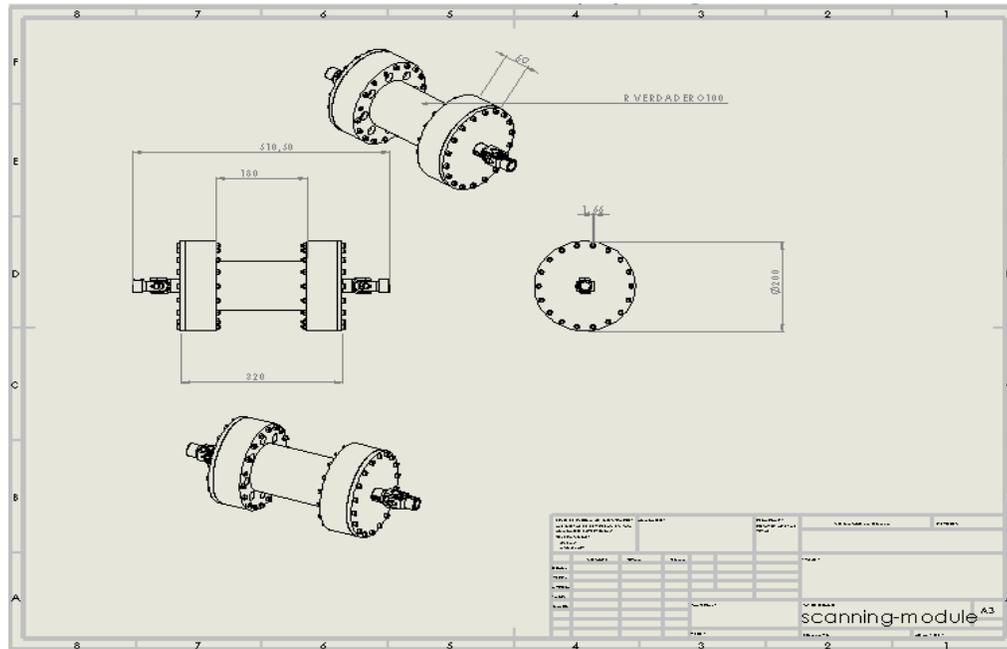


Figura 70. Plano bidimensional del módulo de medición.

### 10.3.2 Modelos tridimensionales.

#### 10.3.2.1 Modelo.



Figura 71. Plano tridimensional del módulo de medición.

## 11 IMPLEMENTACIÓN

## 11.1 Implementación de subsistemas

### 11.1.1 Implementación de circuitos acondicionadores de señal

Para la obtención de los datos y la calibración de cada uno de los sensores utilizados en el módulo de medición y que están conectados a la tarjeta de multiplexación serial Tentacle Shield (PH, conductividad, nivel de oxígeno disuelto, ORP) se procedió a la implementación de circuitos acondicionadores de señal otorgados por el fabricante de Atlas Scientific, mientras que para el sensor de temperatura se procedió al diseño de un circuito de acondicionamiento de señal; a continuación, presentaremos imágenes de la implementación de cada uno de los sensores.

- Circuito acondicionador de señal para el sensor de PH:

La siguiente figura muestra la conexión del circuito acondicionador de señal EZO-PH con la sonda bnc del sensor, este circuito nos permite leer las señales entregadas por la sonda de medición del PH y entregar un valor digital en formato String correspondiente al valor exacto medido por la sonda.



Figura 72. Circuito acondicionador de pH.

- Circuito acondicionador de señal para el sensor de nivel de oxígeno disuelto O.D:

La siguiente figura muestra la conexión del circuito acondicionador de señal EZO-DO con la sonda bnc del sensor, este circuito nos permite leer las señales entregadas por la sonda

de medición del DO y entregar un valor digital en formato String correspondiente al valor exacto medido por la sonda.



Figura 73. Circuito acondicionador de O.D.

- Circuito acondicionador de señal para el sensor conductividad:

La siguiente figura muestra la conexión del circuito acondicionador de señal EZO-EC con la sonda bnc del sensor, este circuito nos permite leer las señales entregadas por la sonda de medición de conductividad y entregar un valor digital en formato String correspondiente al valor exacto medido por la sonda.



Figura 74. Circuito acondicionador de conductividad.

- Circuito acondicionador de señal para el sensor de ORP:

La siguiente figura muestra la conexión del circuito acondicionador de señal EZO-ORP con la sonda bnc del sensor, este circuito nos permite leer las señales entregadas por la sonda

de medición del ORP y entregar un valor digital en formato String correspondiente al valor exacto medido por la sonda.



Figura 75. Circuito acondicionador de ORP.

- Circuito acondicionador de señal para el sensor temperatura PT-1000:

Para la implementación del sensor de temperatura fue necesario realizar el diseño de un pequeño circuito para acondicionar la señal entregada por parte del sensor PT1000, esto debido a que este tipo de sensor resistivo entrega un rango muy amplio de valores de temperatura en variaciones muy pequeñas de la resistencia.

Para el diseño del circuito acondicionador de temperatura lo primero que se hizo fue establecer un rango que cumpliera con nuestras especificaciones técnicas. Para este caso limitamos el rango de temperatura desde los 0°C hasta los 30°C dando cumplimiento al requerimiento de que la temperatura desde que debe medir el sensor debe encontrarse en el rango de los 0°C hasta los 25°C. Posterior a eso se implementó un circuito puente de wheatstone el cual permite determinar el valor de la resistencia desconocida que está entregando el sensor pt1000, la resistencia R3 se estableció del valor de 1K ohm, ya que cuando el valor de la temperatura es 0, según el fabricante el valor entregado por el sensor es igual a este valor lo que hace que ambos brazos del puente estén equilibrados y el voltaje diferencial sea 0 y por lo tanto no se tengan en cuenta otros valores menores de resistencia entregados por el sensor. Posterior a esto se implementó un circuito con amplificador diferencial de manera que se pudiera quitar los voltajes offset que se dan con las variaciones

mínimas de la resistencia del sensor, se diseñó el amplificador de forma que con el valor teórico de la resistencia para la temperatura de 30°C nos represente los 5 voltios máximos.

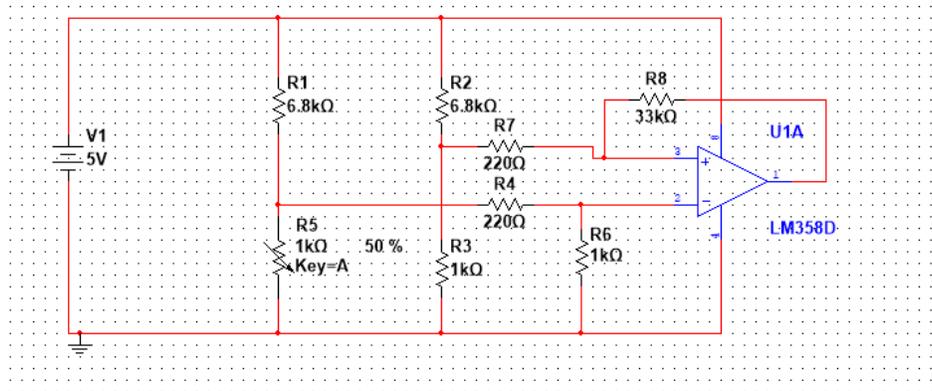


Figura 76. Esquemático del circuito acondicionador de temperatura.

### 11.1.2 Implementación de multiplexor serial Tentacle shield.

Uno de los elementos más importantes del módulo de medición es el shield multiplexor de canales seriales Tentacle Shield, mediante esta placa podemos medir los valores de los sensores que utilizan el circuito acondicionador de señal otorgado por el fabricante, esto es debido a que la comunicación que se realiza entre arduino y los circuitos acondicionadores es de forma serial utilizando el protocolo UART; es por ello que se debe alternar la comunicación entre las tarjetas de acondicionamiento de cada uno de los sensores con el arduino, para ello se utiliza este shield.



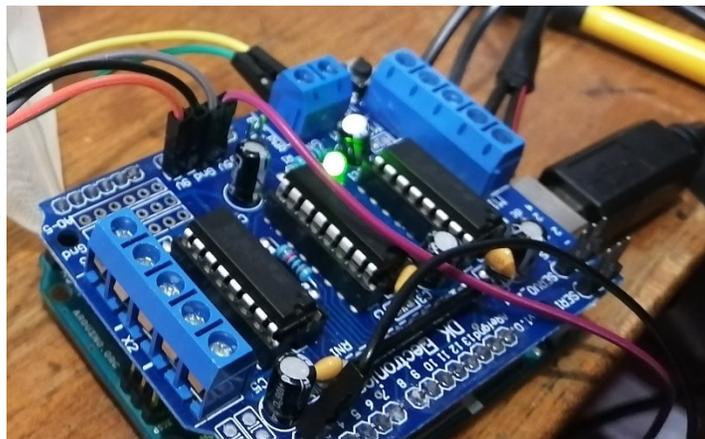
Figura 77. Conexión tentacle shield y arduino.

### *11.1.3 Implementación del circuito de potencia motor Shield de Arduino:*

Para el desarrollo del sistema electrónico capaz de recolectar las 5 muestras de agua planteadas en el proyecto, fue necesario poder implementar un circuito que nos permitiera manejar 5 bombas peristálticas de 12 V, para ello se implementó el shield de arduino "Motor shield" desarrollado por Adafruit, mediante este componente electrónico podemos realizar el manejo de 4 motores DC, proporcionando la potencia entregada por una fuente de alimentación externa.

Para el manejo de las 5 bombas fue necesario la implementación de 2 de estas tarjetas junto con 2 arduinos uno, sin embargo se tiene planeado en el futuro desarrollo de este proyecto, la recolección de 8 muestras de agua; razón por la cual se realizó la implementación de 2 de estas tarjetas, ya que cada una es capaz de manejar 4 bombas peristálticas, de igual manera una de las mayores razones para la implementación de dos tarjetas motor shield y de dos arduinos uno fue el espacio muy limitado con el cual cuenta el diseño del módulo de muestras.

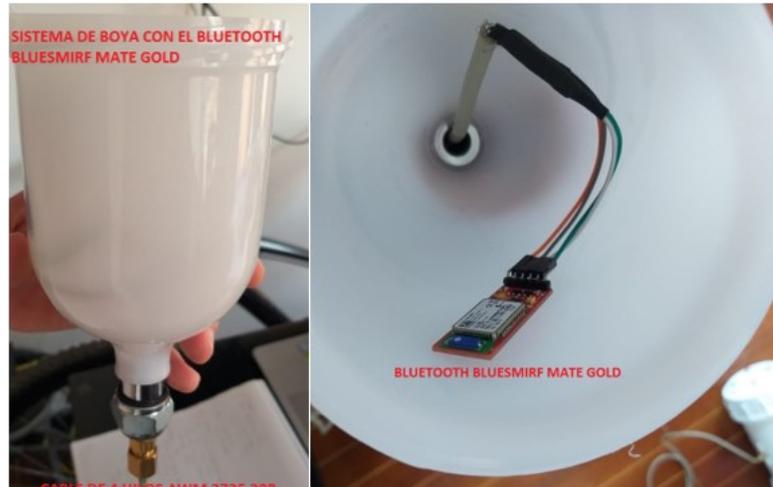
A continuación, presentamos la implementación de la tarjeta Motor Shield.



*Figura 78. Implementación de la tarjeta Motor Shield.*

### *11.1.4 Implementación del módulo de comunicación Bluetooth Bluesmif Mate Gold.*

A continuación, presentamos la implementación del módulo de comunicación en el sistema de flotabilidad ("boya"), para ello se realiza una conexión alámbrica mediante un cable de 4 hilos hacia el módulo principal, este cable alimenta el modulo bluetooth y comunica serialmente el arduino con el bluetooth mediante los puertos seriales (TX y RX).



*Figura 79. Implementación de modulo bluetooth.*

#### *11.1.5 Calibración de cada uno de los Sensores Implicados:*

Como uno de los primeros pasos, se procede a la calibración de cada uno de los sensores, esto es con ayuda del shield de White Box "Tentacle Shield"; para esto se implementa el código desarrollado en la interfaz de arduino llamado "Calibraci\_n\_sensores.ino", el cual estará ubicado en el árbol de documentación.

A continuación, se adjunta el link del árbol de documentación en el cual está el código de calibración de los sensores.

[https://drive.google.com/file/d/1sVFEEIPsbCvDbxDTINQk0G6PtsyZFG8\\_/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1sVFEEIPsbCvDbxDTINQk0G6PtsyZFG8_/view?usp=sharing)

- Calibración de sensor de PH:

La siguiente figura muestra la conexión realizada para la calibración de este sensor, en este caso, se realiza una calibración de 3 puntos (low, middle, high); los cuales se realizan con 3 soluciones de pH 4.00, 7.00 y 10.00 respectivamente.

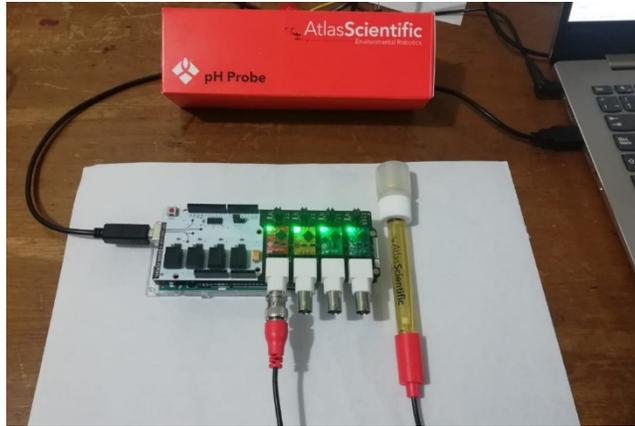


Figura 80. Calibración de sensor de PH.

El sensor estará ubicado en el canal 0 del Tentacle Shield, es por esta razón que se ingresa el comando visto en la siguiente imagen:

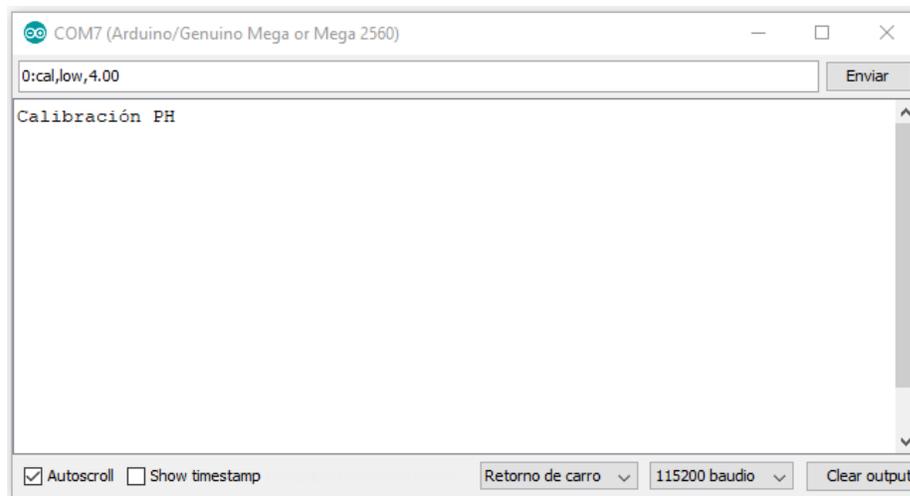


Figura 81. Calibración de sensor de PH, punto low.

La anterior calibración corresponde a el punto bajo en este caso 4.00; este procedimiento se realiza con los otros dos puntos (mid,7.00; high,10.00).

- Calibración de sensor de O.D:

La siguiente figura muestra la conexión realizada para la calibración de este sensor, en este caso, se realiza una calibración de 1 punto; el cual se realiza con 1 solución de 0 mg/L.



Figura 82. Calibración de sensor de O.D

El sensor estará ubicado en el canal 1 del Tentacle Shield, es por esta razón que se ingresa el comando visto en la siguiente imagen:



Figura 83. Calibración de sensor de O.D, punto 0

La anterior calibración corresponde a el punto 0 mg/L.

- Calibración de sensor de Conductividad:

La siguiente figura muestra la conexión realizada para la calibración de este sensor, en este caso, se realiza una calibración de 2 puntos (low, high); los cuales se realizan con dos soluciones 12880  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 80000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente.



Figura 84. Calibración de sensor de Conductividad.

El sensor estará ubicado en el canal 2 del Tentacle Shield, es por esta razón que se ingresa el comando visto en la siguiente imagen:



Figura 85. Calibración de sensor de Conductividad, punto low 12880

La anterior calibración corresponde a el punto bajo en este caso 12880  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ; este procedimiento se realiza con el otro punto (80000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ).

- Calibración de sensor de O.R.P:

La siguiente figura muestra la conexión realizada para la calibración de este sensor, en este caso, se realiza una calibración de 1 punto; la cual se realiza con una solución de 25 mV.



Figura 86. Calibración de sensor de ORP.

El sensor estará ubicado en el canal 3 del Tentacle Shield, es por esta razón que se ingresa el comando visto en la siguiente imagen:

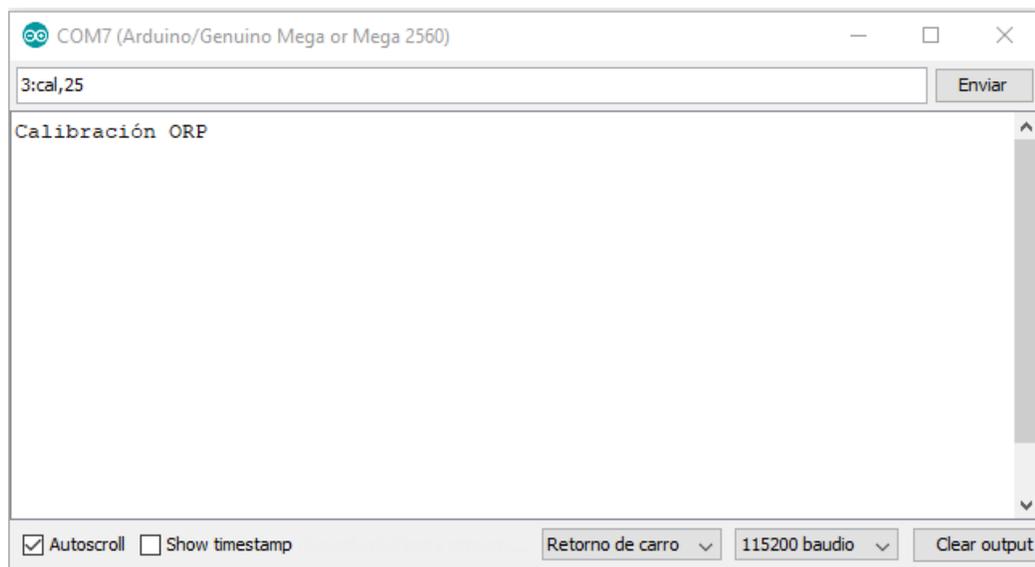


Figura 87. Calibración de sensor de ORP, punto 25 mV

La anterior calibración corresponde a el punto de 25 mV.

### 11.1.6 Interfaz de usuario V1:

Se desarrolló una primera versión del aplicativo que sirve como interfaz gráfica de usuario, cuyo principal objetivo consiste en la visualización y guardado de los valores reales de

los parámetros de pH, conductividad, nivel de Oxígeno Disuelto, ORP, Temperatura y profundidad que están siendo medidos mediante el módulo sumergido en el agua. Además de esto el aplicativo permite generar las órdenes para que el módulo en campo pueda recolectar 5 muestras diferentes de agua. Dicho aplicativo fue desarrollado mediante la herramienta visual studio 2017 en lenguaje C#.

Para comenzar con el desarrollo del aplicativo se realizó una estructura general de la forma en la que funcionaría y sería desarrollado el aplicativo mediante el siguiente diagrama de flujo. Debido al gran tamaño del diagrama de flujo, se dividió en varias secciones y se identificó la continuidad de estos mediante letras. Para ver más en detalle el diagrama puede dirigirse al siguiente link para poder observarlo en tamaño completo: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1EvsGUiFAy6Ip2dGy9gU57qo3sIt95uk2>

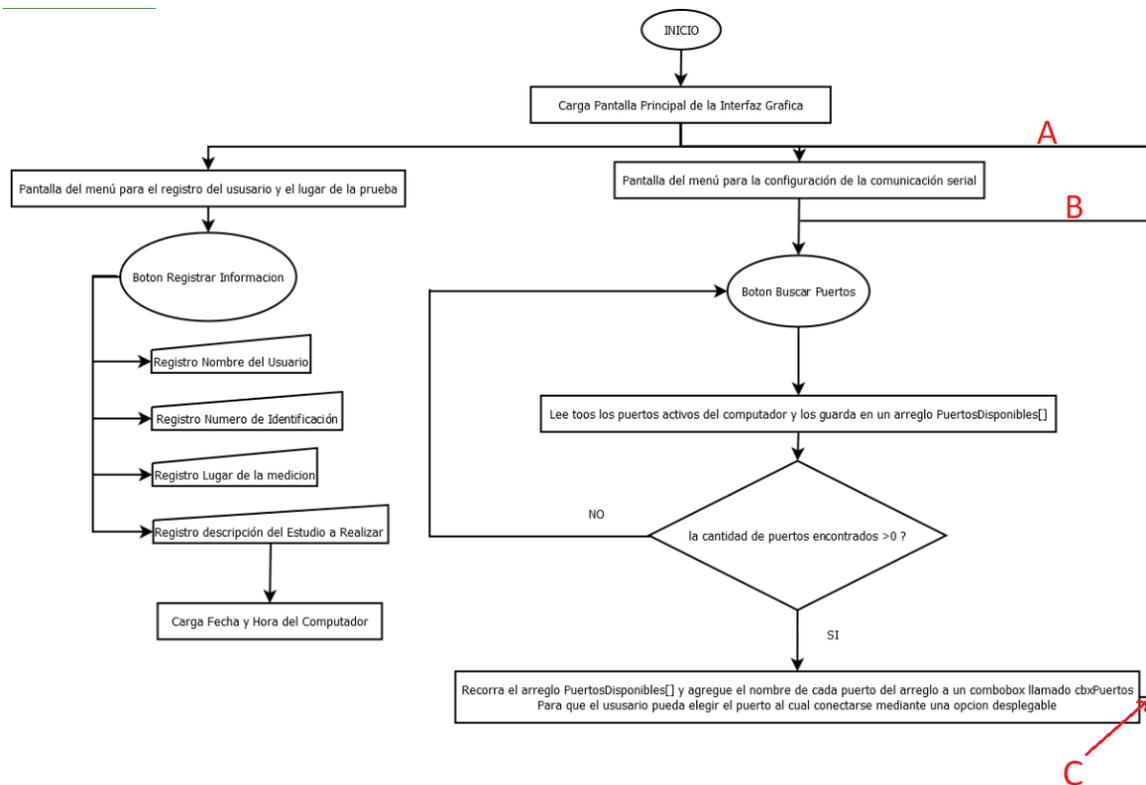


Figura 88. Sección Registro de usuario y conexión puerto serial

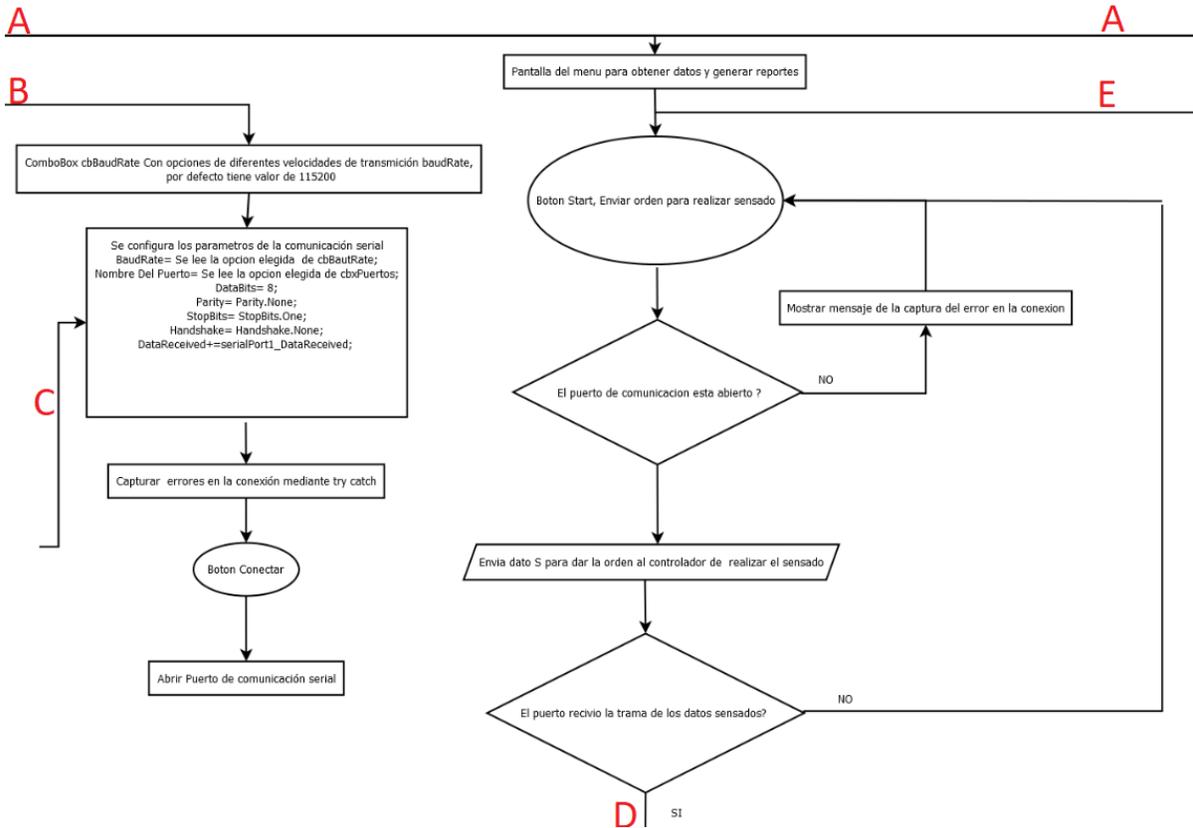


Figura 89. Sección conexión puerto serial, Mostrar datos en una tabla

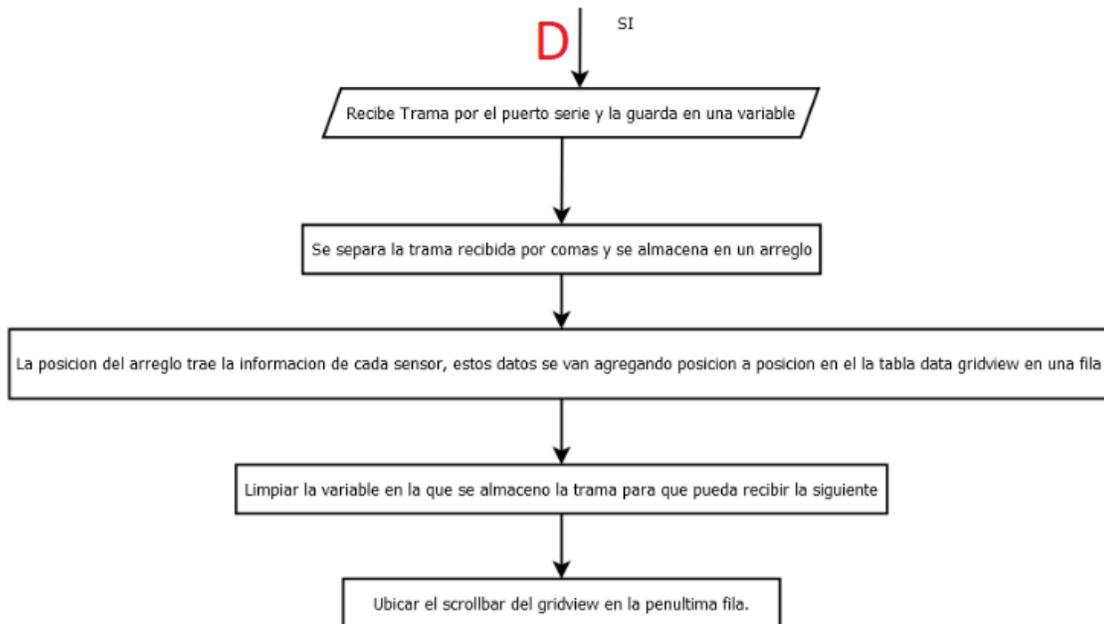


Figura 90. Sección conexión puerto serial, Mostrar Datos en una tabla

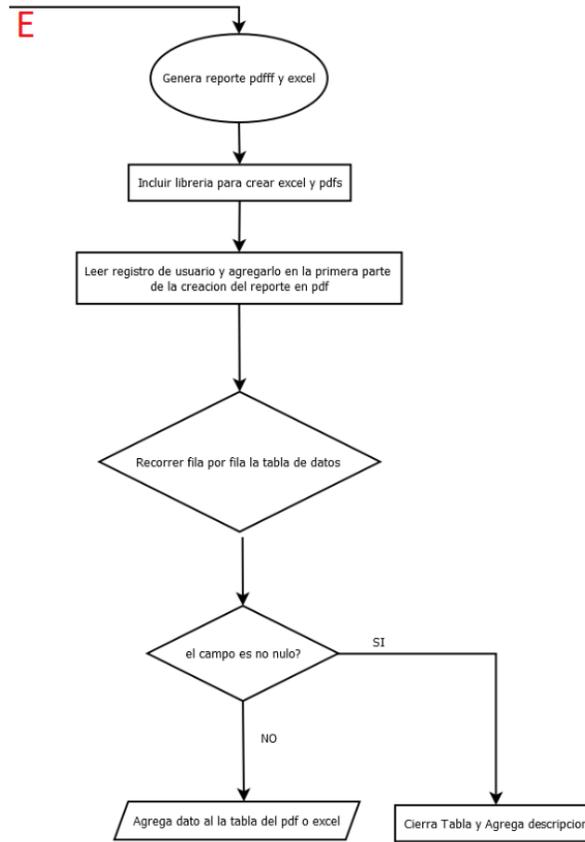


Figura 91. Sección de Generar Datos a Excel y generar reportes

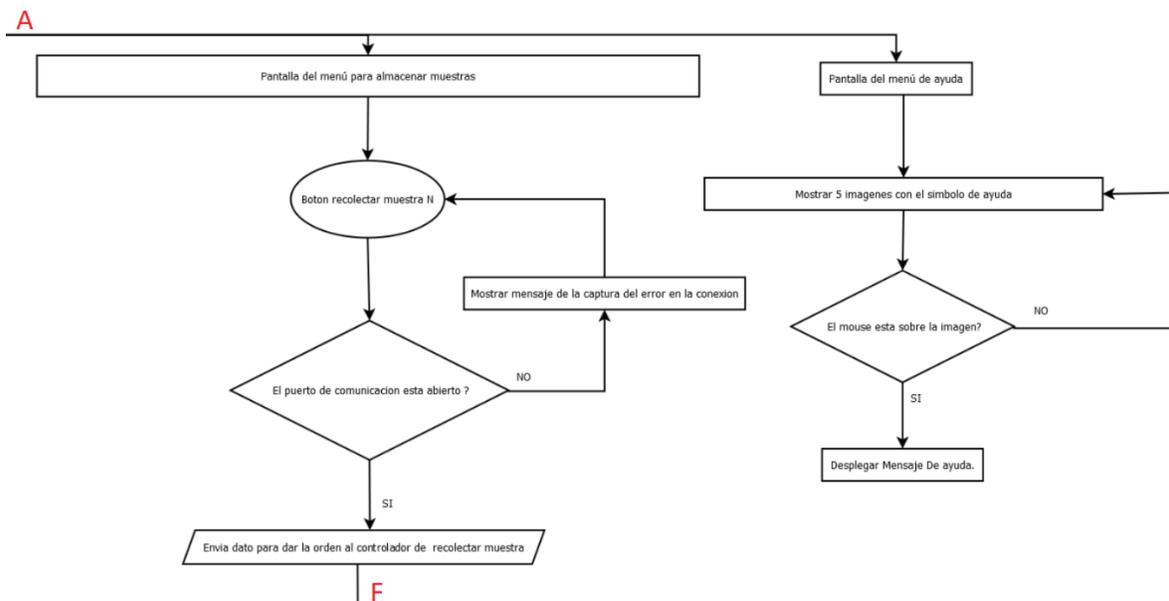


Figura 92. Sección Recolectar Muestras y Ayuda de usuario

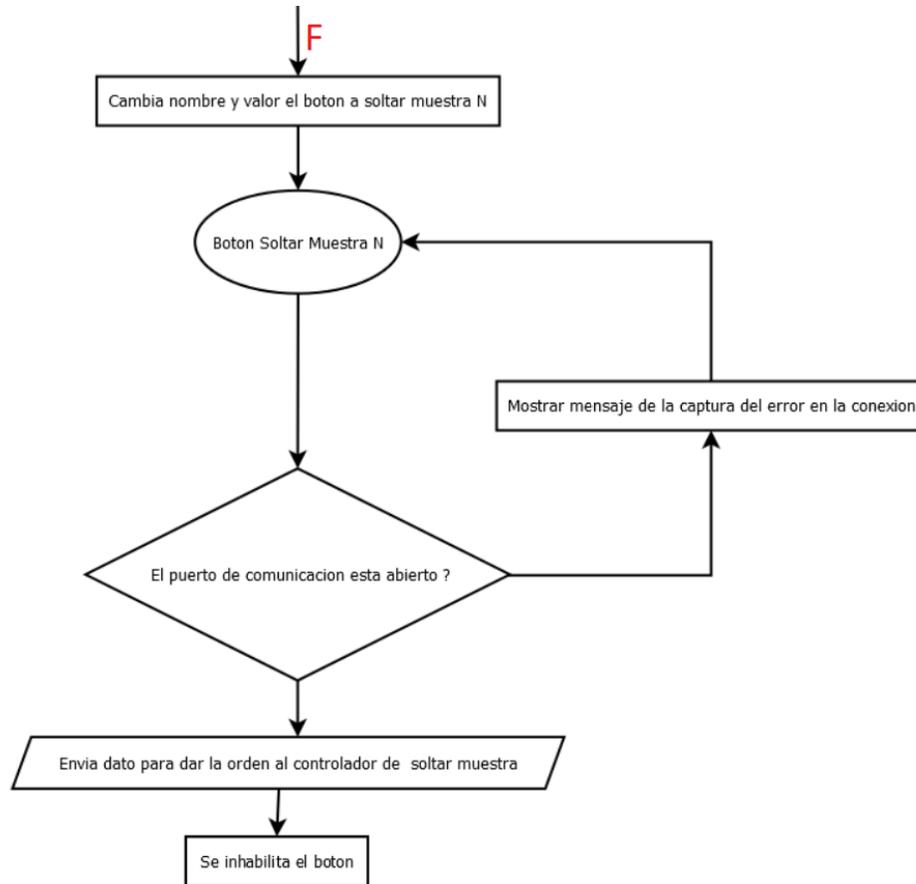


Figura 93. Sección Recolectar Muestras y Soltar Muestras.

Como punto de partida se inició el desarrollo generando un nuevo proyecto de Windows form en lenguaje c# desde la IDE de visual studio. Este tipo de proyecto permite generar el desarrollo gráfico de manera fácil y sencilla, mediante la selección y ubicación de los elementos sobre un área de trabajo se va desarrollando la parte gráfica del aplicativo. La lógica de programación se desarrolló mediante lenguaje c# generado mediante la inclusión de eventos de cada uno de estos elementos gráficos.

La primera etapa del aplicativo como se puede observar en el diagrama de flujo fue generar gráficamente una barra de menú en la cual el usuario pudiese ir libremente entre 6 pestañas diferentes "Ingresar Usuario" "Conexión" "Obtención de datos" "Recolección de muestras" "Ayuda" y "Home" Siendo la pestaña de Home la primera imagen de carga del aplicativo, ya que en esta se encuentra una descripción general acerca del proyecto que sirve de información

para el usuario. Dicho menú fue desarrollado con la herramienta TabControl propia del Windows form de visual studio.

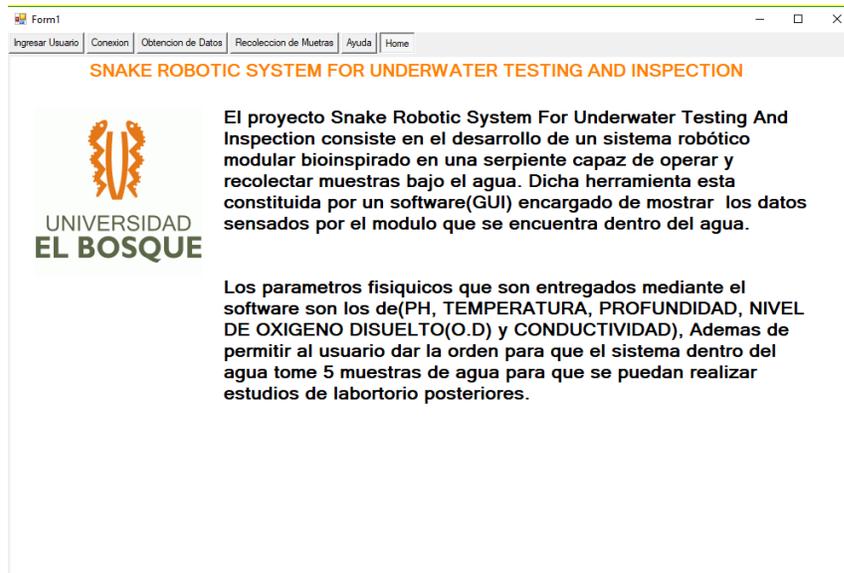


Figura 94. Pantalla inicial del aplicativo

En la pestaña ingresar usuario se generó un pequeño formulario con campos para que el usuario registre el nombre, la identificación, el lugar en el que se realizará la medición y una pequeña descripción del estudio que llevará a cabo. La finalidad de esta pestaña es registrar dichos datos de forma que se pueda generar un reporte más detallado y personalizado del estudio que se realizó.



Figura 95. Pantalla ingresar usuario.

Parte esencial en el desarrollo del aplicativo es la configuración que se realiza para el puerto serial que se genera al hacer el enlace entre el bluetooth del computador y el bluetooth ubicado en la boya de los módulos. Para esta configuración se desarrolló una pestaña llamada conexión, en la cual se implementa una clase propia de visual studio como lo fue la clase System.IO que permite el manejo de puertos seriales del computador. Dicha clase nos permite configurar los siguientes parámetros:

Velocidad de transmisión. Para la selección de este parámetro se generó una opción desplegable para que el usuario pueda elegir entre varias velocidades, sin embargo, por defecto se encuentra seleccionada la opción de los 115200 Bauds que es la velocidad con la que se tiene configurado el bluetooth del módulo y con la cual se debe trabajar.

Nombre del puerto. Para la selección de este parámetro se generó una función la cual se activa mediante el botón buscar en la cual se leen los puertos activos del computador, se guardan en un arreglo y se agregan a una opción desplegable para que el usuario pueda seleccionar el puerto que se generó con el enlace del bluetooth del computador con el del módulo.

DataBits. Este parámetro interno se configuró a 8 Bits e indica el número de bits que se transmiten o se reciben por cada carácter.

Parity. Esta propiedad se establece como ninguna, ya que esta puede ser activada en caso de que se requiera aplicar un protocolo de control de errores sobre cada dato que va a hacer transmitido o recibido. Es decir, en caso de que se quiera controlar lo que se puede enviar o recibir.

Handshake. Esta propiedad al igual que la anterior se estableció como nula, ya que esta lo que nos permite es generar respuestas únicamente cuando se reciba un buffer de por lo menos 1024 bytes, Es decir se establece en caso de tener que generar algún tipo de usuario y clave para generar la respuesta de la comunicación.

Stop Bits. Esta propiedad se establece en uno y con esto se especifica que se envíe un bit de parada que separan cada unidad de datos en una conexión serial asíncrona.

Al presionar el botón conectar se aplica la configuración anterior y se abre el puerto serial, lo que habilita la comunicación entre los bluetooth's. Una vez la comunicación está establecida se activa un botón para cerrar el puerto de enlace.



*Figura 96. Pantalla Conexión.*

Como el principal objetivo del aplicativo es que el usuario pueda ver los datos que está midiendo el módulo en el agua casi de forma instantánea, se desarrolló la pestaña obtención de datos, en la cual se generó un botón Start el cual, al ser presionado, envía un carácter vía bluetooth al módulo en donde el microcontrolador valida la orden y comienza a realizar la medición de cada uno de los sensores dispuestos en el sistema. Una vez termina de hacer la medición, genera una sola trama de salida con los valores recolectados separándolos por comas, esta trama es enviado por medio del bluetooth al aplicativo. En esta parte la lógica desarrollada en el aplicativo permite recibir dicha trama almacenándola en una variable, Esta variable en la que está almacenado la trama se le realiza un proceso para separarlas por comas y guardar cada uno de estos datos separados en una posición de un arreglo, Dicho arreglo se utiliza para ir cargando los dato a una tabla(Datagridview) para que sea visualizada por el usuario. La herramienta usada para generar la tabla de visual studio es un gridview, ya que nos permite hacer un manejo de tablas de manera un poco más sencilla y ordenada a la realizarla de forma manual.

Form1

Ingresar Usuario | Conexion | Obtencion de Datos | Recoleccion de Muestras | Ayuda | Home

aciones

### REGISTRO DE DATOS DE MEDICIONES

 UNIVERSIDAD EL BOSQUE

NOMBRE DE USUARIO: Jaime Osorio      FECHA: 25 / 05 / 2019

NUMERO DE IDENTIFICACION: 10184849111      HORA: 01:33:15

LUGAR DE LA MEDICION: La Charca

PROFUNDIDAD	PH	OD(mg/L)	CONDUCTIVIDAD(µS/cm)	ORP(mV)	TEMPERTURA(°C)
*					

< >

Start    Limpiar    Exportar Datos A Excel    Generar Reporte

Figura 97. Pantalla Obtención de datos.

Para generar el reporte en pdf se tuvo que incluir al proyecto creado el dll iTextSharp ya que este permite hacer la creación de archivos con la extensión .pdf desde visual studio. Para generar el reporte, lo primero que se definió fue un encabezado, el cual es realizado mediante la lectura de las variables que fueron ingresadas al momento de registrarse el usuario. Posterior a eso se define el estilo de la tabla que se va a generar en el documento de reporte es decir él se establece el grosor de las líneas, tipo de letra número de filas y columnas; una vez se ha definido el tamaño de la tabla que se va a generar en el reporte pdf se comienza a llenar con los datos medidos, para esto se recorre fila por fila el datagridview cargado con los datos medidos hasta el punto en que se encuentre un dato nulo. De la misma forma se hizo para los datos que se exportan a Excel solo que implementando la librería Microsoft.Office.Interop.Excel que genera el archivo en Excel.

Para la implementación del sistema de muestras se desarrolló una pestaña con el nombre recolección de muestras donde se generaron 6 botones, cada uno de estos envía vía bluetooth un carácter especial que es validado por el controlador en el módulo para generar la acción de recolectar.

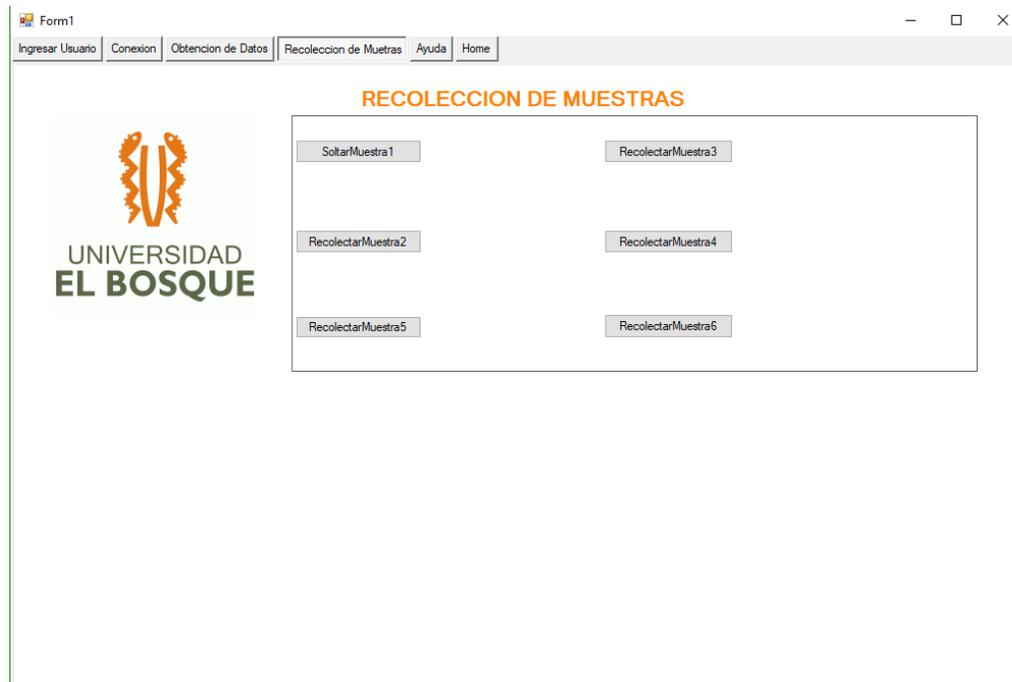


Figura 98. Pantalla Recolección de muestras.

Para todas las acciones que están directamente relacionadas con la conexión bluetooth se implementó un sistema de captura de errores try catch, el cual permite validar cualquier error en la conexión y lo entrega en un cuadro de mensaje.

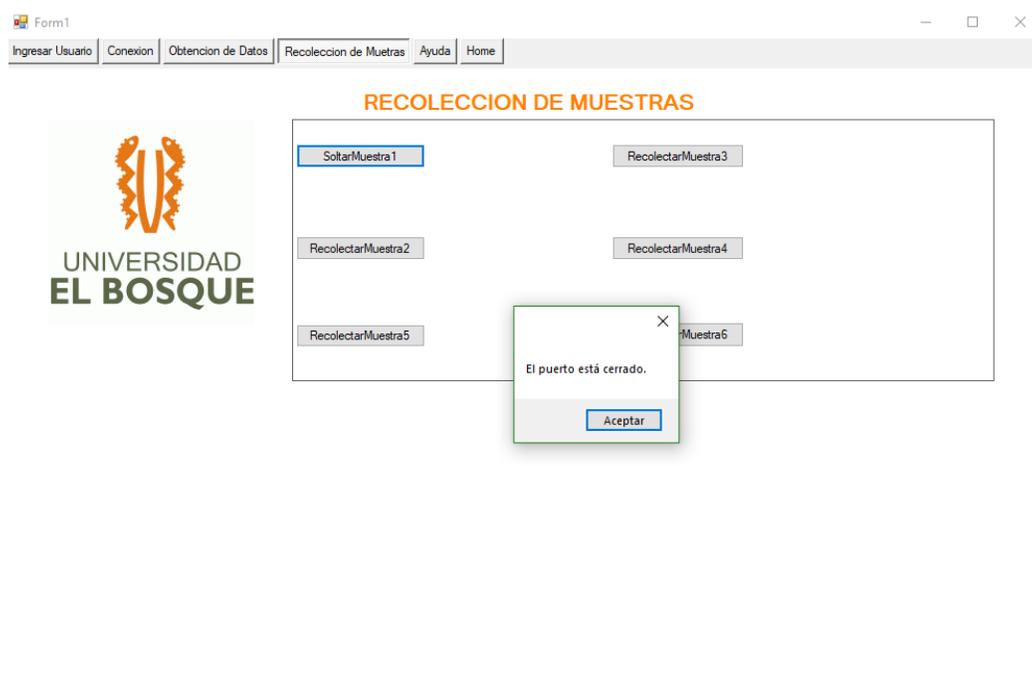


Figura 99. Control de errores conexión.

Para generar el reporte en pdf se utilizó la librería iTextSharp ya que este permite hacer la creación de archivos con la extensión .pdf desde visual studio. Para generar el reporte, lo primero que se definió fue un encabezado, el cual es realizado mediante la lectura de las variables que fueron ingresadas al momento de registrarse el usuario. Posterior a eso se define el estilo es decir la forma y tamaño que tendrá la tabla en el documento de reporte, posteriormente se recorre toda la tabla con los datos ya obtenidos fila por fila agregando cada uno de los valores que había en la tabla del aplicativo al documento pdf hasta el punto que encuentre una fila completamente nula. De la misma forma se hizo para los datos que se exportan a Excel solo que implementando la librería Microsoft.Office.Interop.Excel que genera el archivo en Excel.

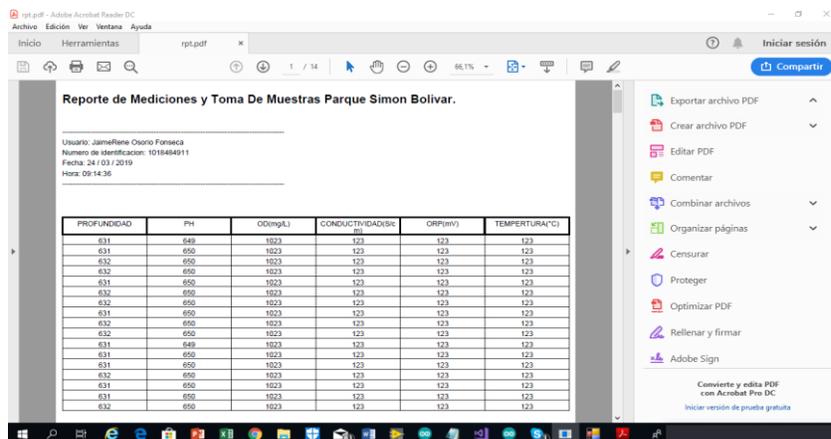


Figura 100. Prueba individual del Aplicativo

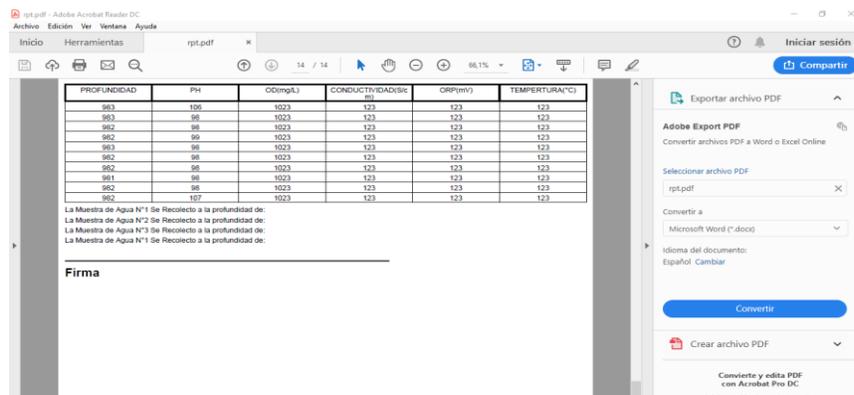


Figura 101. Prueba individual del Aplicativo

Form1

SNAKE ROBOTIC SYSTEM FOR UNDERWATER TESTING AND INSPECTION

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

NOMBRE DE USUARIO: Jaime Rene Osorio Fonseca      FECHA: 24 / 03 / 2019

NUMERO DE IDENTIFICACION: 1018484911      HORA: 09:19:22

LUGAR DE LA MEDICION: Parque Simon Bolivar     

Conexion Bluetooth

     COM3      9600     

Recoleccion de muestras

Muestra1: 981      Muestra3: 811

Muestra2: 567      Muestra4:

PROFUNDIDAD	PH	OD(mg/L)	CONDUCTIVIDAD(μS/cm)	ORP(mV)	TEMPERTURA(°C)
980	98	1023	123	123	123
980	98	1023	123	123	123
981	98	1023	123	123	123
980	98	1023	123	123	123
980	98	1023	123	123	123
980	107	1023	123	123	123

Figura 102. Captura de datos sensado al oprimir la opción muestras

## 11.2 Integración del sistema

### 11.2.1 Integración del módulo de medición.

Para la integración del módulo de medición fue necesario introducir toda nuestra electrónica implementada y desarrollada en una capsula hermética previamente diseñada por nuestro director; las partes fundamentales del módulo de medición son la capsula principal, en la que se encuentran en su interior la placa arduino con el tentacle shield, la batería y los sensores que están acoplados a una de las tapas y están ubicados de tal forma que hagan contacto directo con el agua; la otra parte principal del módulo es el sistema de flotabilidad "Boya", en este se encuentra el módulo de comunicación bluetooth.

A continuación, presentamos una imagen de la estructura fundamental del módulo de medición.



Figura 103. Partes fundamentales del módulo de medición.

La integración tecnológica completa del módulo de medición comprende principalmente 5 partes, las cuales son:

- **Tarjeta de adquisición Arduino Mega:** Esta tarjeta está programada con el código llamado "Pruebas\_1.ino", en ella se realiza el proceso de adquisición de datos en forma secuencial de cada uno de los sensores y almacenarlos en un arreglo. El código desarrollado lo puede consultar en el siguiente link ubicado en nuestro árbol de documentación.  
[https://drive.google.com/file/d/1qIQSbHuE1MugWkX\\_dRDB\\_rWh5x4me628/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1qIQSbHuE1MugWkX_dRDB_rWh5x4me628/view?usp=sharing)
- **Tentacle Shield:** Esta tarjeta nos permite realizar la multiplexación de los canales seriales virtuales, mediante los cuales se comunican los circuitos acondicionadores de señal al arduino Mega.
- **Sensores:** Mediante estos elementos podemos determinar el valor exacto de las variables de interés físico-químicas del agua, los sensores implementados son:

1. PH.
2. OD.
3. Conductividad.
4. Temperatura.
5. ORP.
6. Profundidad.



Figura 104. Sensores integrados del módulo de medición

- **Batería:** Para la alimentación del módulo de medición se utilizó una batería tipo lipo de 7.4v a 300 mA.
- **Bluetooth:** Mediante este elemento realizamos la comunicación entre el módulo de medición y la interfaz gráfica desarrollada.

A continuación, representamos todos los componentes y tecnologías implementadas y desarrolladas en el módulo de medición.

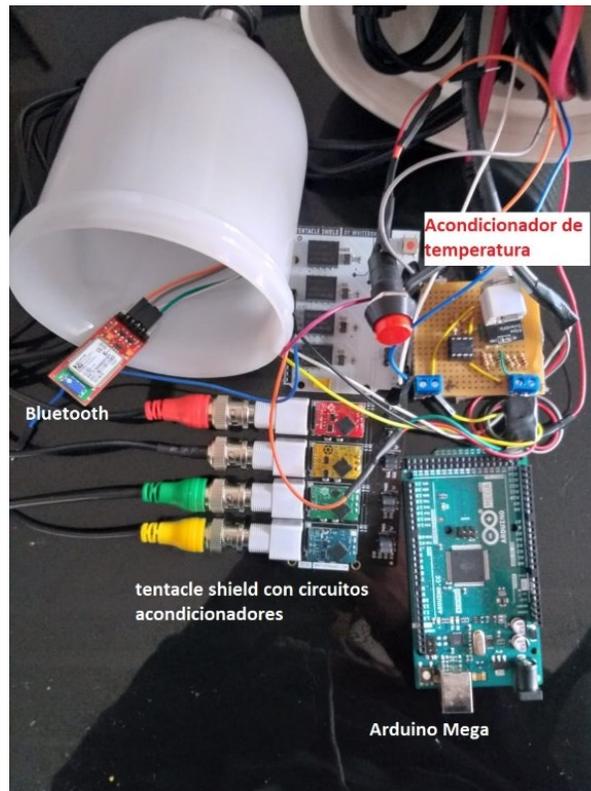


Figura 105. Integración del módulo de medición.

Mediante el siguiente diagrama de flujo se explica de manera general el proceso realizado por el módulo de medición.

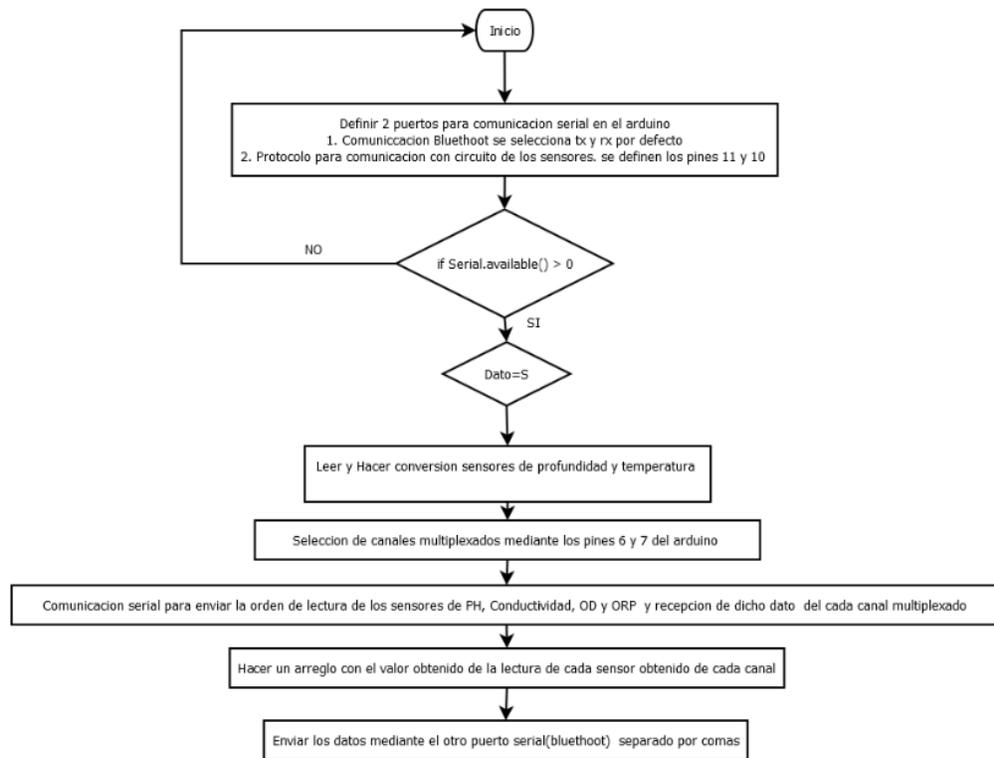


Figura 106. Proceso de toma de muestras

### 11.2.2 Integración del módulo de muestras:

Para la integración del módulo de muestras fue necesario introducir toda nuestra electrónica implementada y desarrollada en una capsula hermética previamente diseñada por nuestro director; las partes fundamentales del módulo de muestras son la capsula principal, en la que se encuentran en su interior dos arduinos uno junto con dos placas Motor Shield, tres pilas para la alimentación de los componentes electrónicos y 8 bombas peristálticas acopladas a 7 tarros de recolección de muestras; la otra parte principal del módulo es el sistema de flotabilidad "Boya", en este se encuentra el módulo de comunicación bluetooth.

A continuación, presentamos una imagen de la estructura fundamental del módulo de muestras.



Figura 107. Partes fundamentales del módulo de muestras.

La integración tecnológica completa del módulo de muestras comprende principalmente 5 partes, las cuales son:

- **Tarjetas de adquisición Arduino Uno:** Estas tarjetas están programadas con los códigos llamados "motor\_shield.ino" y "motor\_shield\_2.ino" respectivamente, en estas tarjetas se encuentran el proceso necesario para la activación de cada una de las motobombas de acuerdo a la instrucción recibida de la aplicación. Los códigos desarrollados los pueden consultar en el siguiente link ubicado en nuestro árbol de documentación.

<https://drive.google.com/drive/folders/17i11AhK7kJZIDLWwts6cvywkev8AzDDY?usp=sharing>

- **Motor Shield:** Estas tarjetas nos permiten el manejo de 4 bombas peristálticas cada una, otorgando una potencia en relación a una fuente de alimentación externa.
- **Bombas Peristálticas:** Mediante estos elementos podemos recolectar las muestras de agua necesarias para el usuario.

- **Batería:** Para la alimentación del módulo de muestras se utilizaron tres baterías tipo lipo de 7.4v a 300 mA.
- **Bluetooth:** Mediante este elemento realizamos la comunicación entre el módulo de muestras y la interfaz gráfica desarrollada.

A continuación, representamos todos los componentes y tecnologías implementadas y desarrolladas en el módulo de muestras.

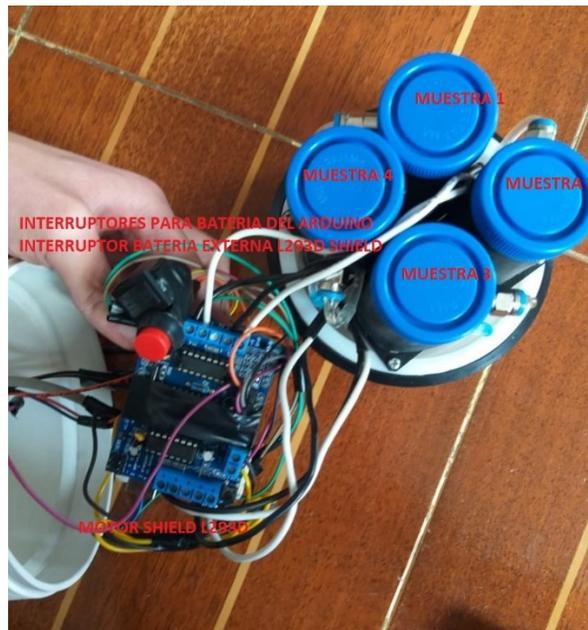


Figura 108. Integración del módulo de muestras.

## 12 PRUEBAS

### 12.1 Pruebas de componentes

#### 12.1.1 Pruebas de sensores de PH, conductividad, ORP, OD y temperatura.

En nuestro caso la prueba individual de los sensores de Ph, conductividad, ORP, y O.D; no se pudo realizar independientemente de los circuitos acondicionares, dado que los sensores entregan señales analógicas con una amplitud demasiado baja, en la mayoría de los casos los voltajes no superan los 20 mv, esto significa que poder visualizar el cambio de la salida con respecto a la entrada no generarían datos suficientes para determinar el funcionamiento de estos sensores; por tal razón la prueba de estos sensores se realizó mediante la implementación

de sus respectivos circuitos acondicionadores de señal proporcionados por el fabricante Atlas Scientific.

### *12.1.2 Pruebas de Motobombas:*

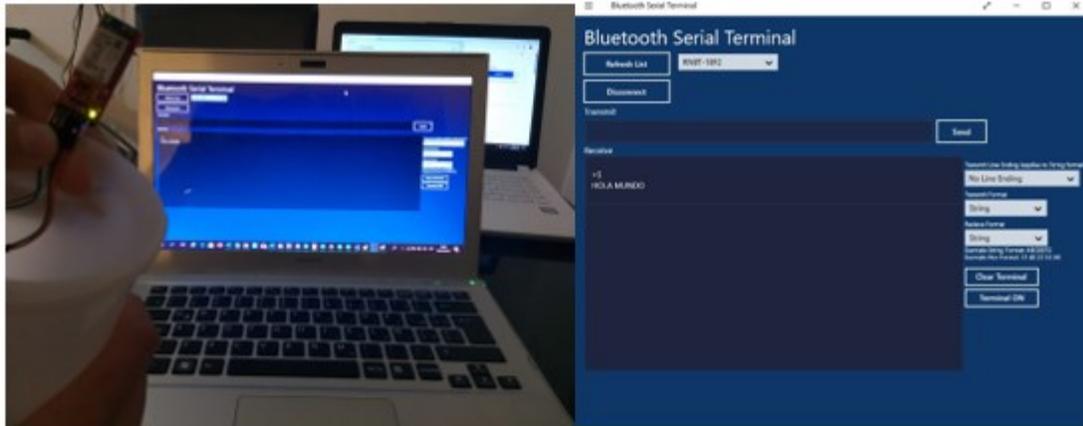
En esta prueba se realizó la polarización de cada una de las 8 motobombas implementadas en nuestro módulo de muestras; para ello se le aplico un voltaje de 12 V comprobando así el correcto funcionamiento de cada uno de los motores de las bombas peristálticas.



*Figura 109. Pruebas de funcionamiento de las bombas peristálticas.*

### *12.1.3 Pruebas del bluetooth:*

En esta prueba se realizó la comprobación de conectividad y emparejamiento del módulo bluetooth con el computador, para ello el bluetooth se conectó a una placa arduino y mediante la aplicación Bluetooth Serial Terminal se comprobó la transmisión de datos mediante un sencillo programa cargado en la placa de arduino.



*Figura 110. Prueba de transmisión de datos del bluetooth*

## *12.2 Pruebas de subsistemas*

Para este apartado se prueban los sensores de forma conjunta con su respectivo circuito acondicionador y su respectiva sustancia de testeo proporcionada por el fabricante de Atlas Scientific, para ello se realizó toma de mediciones cada 30 segundos realizando un cambio de sustancias o tipo de medición para poder visualizar el comportamiento de cada sensor frente a las variaciones, todas las gráfica generadas están comparadas con respecto a un valor de referencia; estas gráficas serán presentadas en el capítulo de resultados y estudiadas a detalle en el capítulo de discusión.

### *12.2.1 Prueba de sensor de pH:*

En esta prueba se realizó la medición del parámetro químico del pH en las tres sustancias de calibración otorgadas por el fabricante de Atlas Scientific; el proceso consistió en:

1. Sumergir el sensor en la sustancia de 4.00 Ph, se tomaron 10 datos de medición cada 30 segundos.



*Figura 111. Prueba del sensor de pH en sustancia de 4.00.*

2. Sumergir el sensor en la sustancia de 10.00 Ph, se tomaron 10 datos de medición cada 30 segundos.



*Figura 112. Prueba del sensor de pH en sustancia de 10.00.*

3. Sumergir el sensor en la sustancia de 7.00 Ph, se tomaron 10 datos de medición cada 30 segundos.



*Figura 113. Prueba del sensor de pH en sustancia de 7.00.*

Mediante la utilización de la aplicación se generó un reporte en pdf y en Excel de los datos tomados durante este proceso, para conocer más información de los reportes generados puede consultar el siguiente link ubicado en nuestro árbol de documentación.

<https://drive.google.com/drive/folders/1V7MOIH6N3WLL1Mia1WyNXclPLNVzt6Ta?usp=sharing>

### 12.2.2 Prueba de sensor de oxígeno disuelto:

En esta prueba se realizó la medición del parámetro químico del nivel de OD en la sustancia de calibración otorgada por el fabricante de Atlas Scientific; el proceso consistió en:

1. Dejar el sensor al aire libre, se tomaron 10 datos de medición cada 30 segundos, este dato fue comparado con el valor teórico (9,1 mg/L) de medición al aire libre otorgada por el datasheet.



Figura 114. Prueba del sensor de O.D al aire libre

2. Sumergir el sensor en la sustancia de 0 mg/L, se tomaron 10 datos de medición cada 30 segundos.



Figura 115. Prueba del sensor de O.D en sustancia de 0 mg/L

Mediante la utilización de la aplicación se generó un reporte en pdf y en Excel de los datos tomados durante este proceso, para conocer más información de los reportes generados puede consultar el siguiente link ubicado en nuestro árbol de documentación.

<https://drive.google.com/drive/folders/1nYJyOC73bMPQLeO1uyEP7YbqLsvXHeKI?usp=sharing>

### *12.2.3 Prueba de sensor de conductividad*

En esta prueba se realizó la medición del parámetro químico de conductividad en las dos sustancias de calibración otorgadas por el fabricante de Atlas Scientific; el proceso consistió en:

1. Dejar el sensor al aire libre, se tomaron 10 datos de medición cada 30 segundos, este dato fue comparado con el valor teórico ( $0 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) de medición al aire libre otorgada por el datasheet.



*Figura 116. Prueba del sensor de conductividad al aire libre.*

2. Sumergir el sensor en la sustancia de  $12880 \mu\text{S}/\text{cm}$ , se tomaron 10 datos de medición cada 30 segundos.



*Figura 117. Prueba del sensor de conductividad en sustancia de 12880  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .*

3. Sumergir el sensor en la sustancia de 80000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se tomaron 10 datos de medición cada 30 segundos.



*Figura 118. Prueba del sensor de conductividad en sustancia de 80000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .*

Mediante la utilización de la aplicación se generó un reporte en pdf y en Excel de los datos tomados durante este proceso, para conocer más información de los reportes generados puede consultar el siguiente link ubicado en nuestro árbol de documentación.

<https://drive.google.com/drive/folders/1nK2uyMRVwfnIGnGraQinYxbn0yw7rN5f?usp=sharing>

#### *12.2.4 Prueba de sensor de ORP.*

En esta prueba se realizó la medición del parámetro químico del nivel de ORP en la sustancia de calibración otorgada por el fabricante de Atlas Scientific; el proceso consistió en:

1. Sumergir el sensor en la sustancia de 225 mV, se tomaron 20 datos de medición cada 30 segundos.



*Figura 119. Prueba del sensor de ORP en sustancia de 225 mV.*

Mediante la utilización de la aplicación se generó un reporte en pdf y en Excel de los datos tomados durante este proceso, para conocer más información de los reportes generados puede consultar el siguiente link ubicado en nuestro árbol de documentación.

[https://drive.google.com/drive/folders/1Om-gLtVGOIGqdCPJTUHFh6o4Cd\\_oh79m?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1Om-gLtVGOIGqdCPJTUHFh6o4Cd_oh79m?usp=sharing)

En esta prueba se realizó el testeo del sensado del sensor de ORP, para ello se utilizó la sustancia de 225 mv, se puede evidenciar un pequeño error debido a temas de temperatura.

#### *12.2.5 Prueba de sensor de Temperatura.*

En esta prueba se realizó la medición del parámetro físico de temperatura, los datos de referencia fueron obtenidos mediante la termocupla del multímetro UT39C, para ello el proceso consistió en:

1. Dejar el sensor en agua a temperatura ambiente y medir junto con el multímetro, se tomaron 10 datos de medición cada 30 segundos.



*Figura 120. Prueba de sensor de temperatura en agua.*

2. Verter agua caliente al balde, se tomaron 10 datos de medición cada 30 segundos.



*Figura 121. Prueba de sensor de temperatura en agua caliente.*

3. Colocar un cubo de hielo directo sobre el sensor y la termocupla del multímetro, se tomaron 10 datos de medición cada 30 segundos.



*Figura 122. Prueba de sensor de temperatura con cubo de hielo.*

Mediante la utilización de la aplicación se generó un reporte en pdf y en Excel de los datos tomados durante este proceso, para conocer más información de los reportes generados puede consultar el siguiente link ubicado en nuestro árbol de documentación.

<https://drive.google.com/drive/folders/1FMz4AYrwcfnlqO-MRRqfptt4wtAQhprk?usp=sharing>

#### *12.2.6 Prueba de sensor de Presión*

En esta prueba se realizó la medición del parámetro físico de profundidad, los datos de referencia fueron obtenidos mediante la medición con un flexómetro, para ello el proceso consistió en:

1. Sumergir paulatinamente el módulo en un balde a 4 cm, 7 cm y por último 9 cm, se tomaron 10 datos de medición durante 5 minutos por cada paso de profundidad.



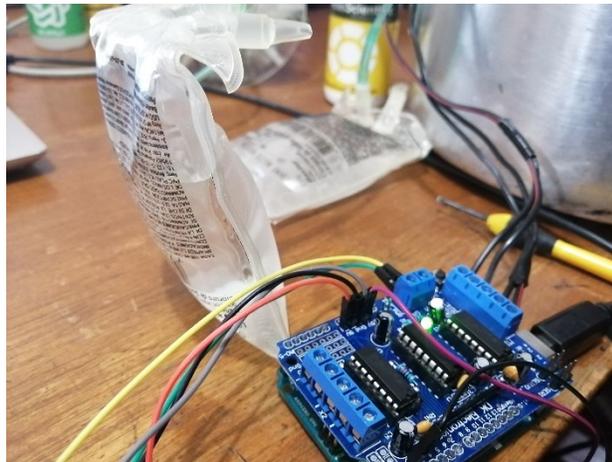
*Figura 123. Prueba de sensor de presión.*

Mediante la utilización de la aplicación se generó un reporte en pdf y en Excel de los datos tomados durante este proceso, para conocer más información de los reportes generados puede consultar el siguiente link ubicado en nuestro árbol de documentación.

<https://drive.google.com/drive/folders/1Geyv098IBnYw2iRDs1v0zK0vz27pwBfU?usp=sharing>

### *12.2.7 Prueba de motor shield*

En esta prueba se realizó la implementación del código de manejo del motor shield, para ello se puso a prueba el funcionamiento de las bombas peristálticas mediante el llenado de un recipiente de agua.



*Figura 124. Prueba de tarjeta Motor Shield*

### *12.3 Prueba de integración del sistema.*

La integración del sistema completo correspondió a una prueba en campo realizada en un estanque de agua natural, las especificaciones de la prueba serán explicadas más adelante en el capítulo de prueba del sistema; sin embargo, se realizó una prueba mediante la cual se identificó la transmisión de datos desde la interfaz de arduino, aquí se procede a enviar un comando para activar la secuencia de lectura definida en la programación de la placa arduino,

luego de realizada la secuencia, se envía el arreglo de las mediciones realizadas mediante el monitor serial del IDE de Arduino.

```
COM3 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
16.66,4.866,9.22,69660,229.4,20.63
```

Figura 125. Arreglo generado del módulo de medición.

### 13 AJUSTES

Debido al tamaño de los módulos y a que en la parte de diseño no se estipulo que se debía de tener una bolsa de almacenamiento más grande capaz de soportar la cantidad de líquido equivalente a la suma de las 5 muestras para mantener el equilibrio de presiones dentro del módulo, se debió hacer un ajuste a la cantidad de agua que se recolecta en cada muestra, pasando de un valor estipulado de 100mL a 30mL, para ello se implementaron tarros de muestras que almacenan cada uno 30 ml.



Figura 126. Tarros de recolección de muestras de 30 ml.

Se cambió el diseño estipulado para el sensor PT1000, ya que en un principio se tenía pensado un divisor de voltaje para el acondicionamiento de la señal, pero al momento de la implementación, debido a que los cambios de resistencia que tiene dicho sensor resistivo debido a la temperatura son muy bajos no se podía obtener un valor estable, lo que nos llevó a realizar un nuevo circuito para acondicionar dicha señal. Para esto se implementó un puente de wheatstone junto con un amplificador operacional diferencial, de esta forma restringimos el rango del sensor a los rangos estipulados de uso y se pudo tener una señal estable acorde a la temperatura.

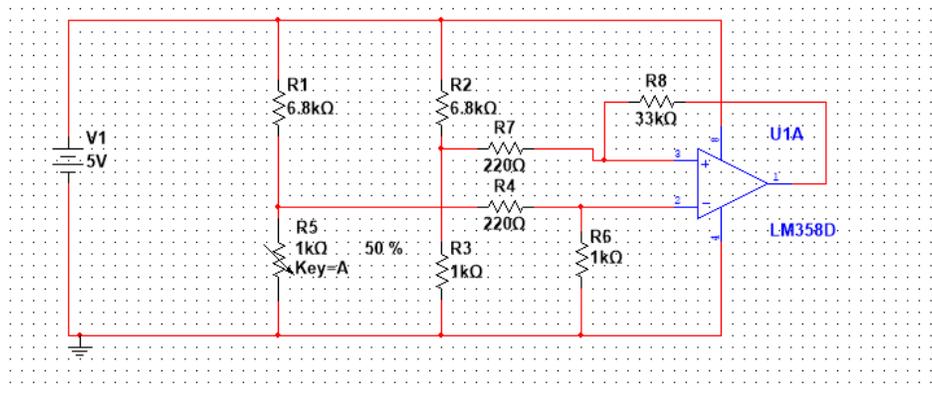


Figura 127. Esquemático del circuito acondicionador de temperatura

Dentro del proceso de comprobación de funcionamiento de los sensores, se había estipulado el desarrollo de pruebas comparativas con instrumentos funcionales de laboratorio, pero debido a dificultades técnicas para que se nos fuese prestado el laboratorio debido a la baja o nula experiencia con los instrumentos que se manejan allí, las pruebas básicas de funcionamiento de cada sensor se realizaron comprobando los valores químicos con parámetros ya estipulados en soluciones que venían en el kit adquirido en Atlas Scientific.

## 14 PRUEBAS DEL SISTEMA

A continuación, se señala el proceso de la prueba realizada en cada uno de los módulos desarrollados; para mayor información de la prueba realizada puede seguir el siguiente enlace, en donde se realizó un video mediante el cual se evidencia el proceso de las pruebas realizadas a los dos módulos.

<https://drive.google.com/file/d/1NtkejlIVcDikHeZS-0CHdL84Pr27aA3/view?usp=sharing>

#### *14.1 Prueba de módulo de medición.*

Para esta prueba se puso en funcionamiento el módulo de medición en un estanque de agua natural de aproximadamente 1 metro de profundidad, para ello se hundió el módulo a diferentes profundidades y se obtenían datos de forma cada minuto.



*Figura 128. Módulo de medición en estanque de agua.*

Un usuario era el encargado de hundir el módulo en el estanque y el otro era el encargado de sacar las mediciones correspondientes del agua, como se puede verificar en la siguiente fotografía las mediciones son en tiempo real, a continuación, se inserta un link de uno de los videos realizados en la prueba, el video se encuentra en nuestro árbol de documentación.

[https://drive.google.com/file/d/1XV3cC2G6LHB6VWJCK0TAygeyjY1YyCz/view?usp=sh  
aring](https://drive.google.com/file/d/1XV3cC2G6LHB6VWJCK0TAygeyjY1YyCz/view?usp=sharing)

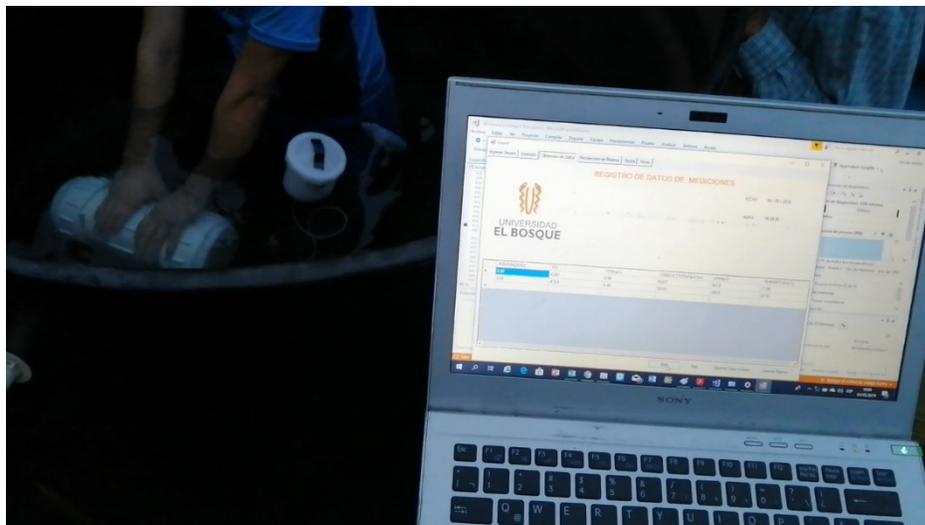


Figura 129. Fotografía de medición in-situ.

En esta prueba se realizaron un total de 43 mediciones

PROFUNDIDAD	PH	OD	CONDUCTIVIDAD	ORP	TEMPERATURA
0	6,501	8,93	56,17	441	22.06
0	6,535	8,47	55,22	445	22.06
8,33	6,55	8,49	59,17	448,7	22.18
0	6,561	8,7	58,07	452	22.06
0	6,561	8,7	58,06	455,7	22.12
8,33	6,573	8,43	59,45	458,3	22.12
8,33	6,578	8,63	56,45	460,6	22.18
16,66	6,589	8,4	58,07	463,4	22.12
16,66	6,591	8,64	56,99	466,3	22.12
24,99	6,593	8,64	56,31	467,7	22.12
41,65	6,597	8,31	58,47	470,5	22.12
41,65	6,586	8,85	54,95	472,8	22.18
49,98	6,587	8,7	56,71	474,8	22.18
33,32	6,588	8,55	58,21	476,8	22.12
74,97	6,588	8,74	54,96	479,2	22.06
58,31	6,589	8,57	56,58	481,1	22.06
49,98	6,58	8,47	56,46	482,5	22.12
49,98	6,578	8,32	59,04	485,1	22.12
58,31	6,565	8,11	56,71	488,5	22.12
58,31	6,566	8,6	58,62	490	22.18
41,65	6,561	8,21	59,02	491,3	22.12
24.99	6.551	8.9	54.68	492.6	22.12

Figura 130. Datos exportados a excel prueba 1 parte1 .

24,99	6,551	8,9	54,68	492,6	22.12
41,65	6,557	8,52	56,31	494,3	22.12
24,99	6,553	8,17	57,27	496,3	22.12
0	6,55	8,3	57,27	497,7	22.18
0	6,545	8,77	55,63	499,2	22.12
0	6,547	8,36	57,27	500,5	22.12
0	6,548	8,45	56,17	501,5	22.18
74,97	6,551	8,39	54,14	503,7	22.18
74,97	6,546	8,93	54,82	503,9	22.12
58,31	6,552	8,42	55,22	505,1	22.12
74,97	6,558	8,3	56,45	506,1	22.12
58,31	6,565	8,14	57,53	507,4	22.12
66,64	6,561	8,11	56,71	508,5	22.06
49,98	6,555	8,7	54,28	510,3	22.12
49,98	6,557	8,71	55,36	511,1	22.06
41,65	6,557	8,1	54,54	513,7	22.12
66,64	6,546	8,82	54,82	514	22.12
66,64	6,552	8,34	55,77	514,9	22.12
66,64	57,13	517,2	6,552	7,69	22.12
58,31	6,55	7,34	59,46	520	22.06
58,31	6,546	7,33	58,07	521,7	22.18

Figura 131. Datos exportados a Excel prueba 1 parte2 .

### Reporte de Mediciones y Toma De Muestras TANQUE FINCA OMEGA.

.....  
 Usuario: MATEO LAMPREA Y JAIME OSORIO  
 Numero de identificacion: \*\*\*\*\*  
 Fecha: 04 / 05 / 2019  
 Hora: 06:22:33  
 .....

PROFUNDIDAD	PH	OD(mg/L)	CONDUCTIVIDAD(S/cm)	ORP(mV)	TEMPERATURA(°C)
0.00	6.501	8.93	56.17	441.0	22.06
0.00	6.535	8.47	55.22	445.0	22.06
8.33	6.550	8.49	59.17	448.7	22.18
0.00	6.561	8.70	58.07	452.0	22.06
0.00	6.561	8.70	58.06	455.7	22.12
8.33	6.573	8.43	59.45	458.3	22.12
8.33	6.578	8.63	56.45	460.6	22.18
16.66	6.589	8.40	58.07	463.4	22.12
16.66	6.591	8.64	56.99	466.3	22.12
24.99	6.593	8.64	56.31	467.7	22.12
41.65	6.597	8.31	58.47	470.5	22.12
41.65	6.586	8.85	54.95	472.8	22.18
49.98	6.587	8.70	56.71	474.8	22.18
33.32	6.588	8.55	58.21	476.8	22.12
74.97	6.588	8.74	54.96	479.2	22.06
58.31	6.589	8.57	56.58	481.1	22.06
49.98	6.580	8.47	56.46	482.5	22.12

Figura 132. Reporte Generado prueba 1 parte1.

PROFUNDIDAD	PH	OD(mg/L)	CONDUCTIVIDAD(S/cm)	ORP(mV)	TEMPERATURA(°C)
49.98	6.578	8.32	59.04	485.1	22.12
58.31	6.565	8.11	56.71	488.5	22.12
58.31	6.566	8.60	58.62	490.0	22.18
41.65	6.561	8.21	59.02	491.3	22.12
24.99	6.551	8.90	54.68	492.6	22.12
41.65	6.557	8.52	56.31	494.3	22.12
24.99	6.553	8.17	57.27	496.3	22.12
0.00	6.550	8.30	57.27	497.7	22.18
0.00	6.545	8.77	55.63	499.2	22.12
0.00	6.547	8.36	57.27	500.5	22.12
0.00	6.548	8.45	56.17	501.5	22.18
74.97	6.551	8.39	54.14	503.7	22.18
74.97	6.546	8.93	54.82	503.9	22.12
58.31	6.552	8.42	55.22	505.1	22.12
74.97	6.558	8.30	56.45	506.1	22.12
58.31	6.565	8.14	57.53	507.4	22.12
66.64	6.561	8.11	56.71	508.5	22.06
49.98	6.555	8.70	54.28	510.3	22.12
49.98	6.557	8.71	55.36	511.1	22.06
41.65	6.557	8.10	54.54	513.7	22.12
66.64	6.546	8.82	54.82	514.0	22.12
66.64	6.552	8.34	55.77	514.9	22.12
66.64	57.13	517.2	6.552	7.69	22.12
58.31	6.550	7.34	59.46	520.0	22.06
58.31	6.546	7.33	58.07	521.7	22.18

DESCRIPCION: PRUEBA DE MEDICIONES EN TANQUE QUE SURTE AGUA DE ROCIO EN LA FINCA OMEGA

*Figura 133. Reporte Generado prueba 1 parte2*

En una segunda prueba se procedió a realizar unas mediciones del agua mediante una variación de sus parámetros físico-químicos con ayuda del vertimiento de vinagre, esto ayudó a reflejar varios cambios en algunas medidas, estas serán discutidas más adelante.

A continuación, se inserta el link del video de la prueba el cual está en nuestro árbol de documentación.

<https://drive.google.com/file/d/16JIZEDIB9HcYeu01xknXnjIT2CQ7p9uy/view?usp=sharing>



*Figura 134. Prueba con variación de datos mediante inserción de vinagre.*

PROFUNDIDAD	PH	OD	CONDUCTIVIDAD	ORP	TEMPERATURA
0	6,62	8,83	54,28	536,6	22.06
0	6,625	8,56	54,4	537,1	22.12
0	6,627	8,51	54,82	537,2	22.12
0	6,627	8,25	54,96	537,7	22.18
0	6,633	8,5	131,3	556,4	22.18
0	2,912	8,81	364,2	562,1	22.18
0	2,943	8,58	312,2	558,2	22.18
0	2,996	8,33	299,3	557,7	22.12
0	3,087	8,1	246,3	554,5	22.12
0	3,22	8,11	176,8	552,7	22.12
0	3,655	8,24	177,6	553,1	22.18
0	3,819	8,08	158,6	554,5	22.18
0	3,815	7,87	148,8	553,1	22.12
0	3,914	7,8	137	555,1	22.24
0	4,097	8,02	107,9	548,7	22.06
0	4,173	7,87	108,4	547,2	22.18
0	550,4	5,427	8,37	76,38	22.18
0	547,4	5,194	8,29	62,17	22.06
0	5,337	8,84	57,81	538,5	22.12
0	5,283	8,28	57,13	539,7	22.12
0	5,741	8,56	54,68	540	22.06
0	5,827	8,8	53,87	540,3	22.12

Figura 135. Datos recolectados en Excel.

**Reporte de Mediciones y Toma De Muestras TANQUE FINCA OMEGA.**

Usuario: MATEO LAMPREA Y JAIME OSORIO  
 Numero de Identificacion: \*\*\*\*\*  
 Fecha: 04 / 05 / 2019  
 Hora: 06:33:19

PROFUNDIDAD	PH	OD(mg/L)	CONDUCTIVIDAD(S/cm)	ORP(mV)	TEMPERTURA(°C)
0.00	6.620	8.83	54.28	536.6	22.06
0.00	6.625	8.56	54.40	537.1	22.12
0.00	6.627	8.51	54.82	537.2	22.12
0.00	6.627	8.25	54.96	537.7	22.18
0.00	6.633	8.50	131.3	556.4	22.18
0.00	2.912	8.81	364.2	562.1	22.18
0.00	2.943	8.58	312.2	558.2	22.18
0.00	2.996	8.33	299.3	557.7	22.12
0.00	3.087	8.10	246.3	554.5	22.12
0.00	3.220	8.11	176.8	552.7	22.12
0.00	3.655	8.24	177.6	553.1	22.18
0.00	3.819	8.08	158.6	554.5	22.18
0.00	3.815	7.87	148.8	553.1	22.12
0.00	3.914	7.80	137.0	555.1	22.24
0.00	4.097	8.02	107.9	548.7	22.06
0.00	4.173	7.87	108.4	547.2	22.18
0.00	550.4	5.427	8.37	76.38	22.18

PROFUNDIDAD	PH	OD(mg/L)	CONDUCTIVIDAD(S/cm)	ORP(mV)	TEMPERTURA(°C)
0.00	547.4	5.194	8.29	62.17	22.06
0.00	5.337	8.84	57.81	538.5	22.12
0.00	5.283	8.28	57.13	539.7	22.12
0.00	5.741	8.56	54.68	540.0	22.06
0.00	5.827	8.80	53.87	540.3	22.12
0.00	5.893	8.76	54.28	540.8	22.18

DESCRIPCION: PRUEBA REALIZADA EN TANQUE DE RIEGO DE LA FINCA OMEGA, VERTIENDO EN ESTE VINAGRE.

Figura 136. Reporte Generado prueba 2.

Mediante las aplicaciones se corroboró que el envío y recepción de datos fuera el correcto, esto es gracias a que por medio del botón Start, se enviará el comando necesario para que el módulo comenzará a recolectar la información de cada uno de los sensores, este proceso durará aproximadamente 10-12 segundos, finalizado el tiempo la aplicación registrará los datos enviados del módulo.

Mediante las aplicaciones se corroboró que el envío y recepción de datos fuera el correcto, esto es gracias a que por medio del botón Start, se enviará el comando necesario para que el módulo comenzará a recolectar la información de cada uno de los sensores, este proceso durará aproximadamente 10-12 segundos, finalizado el tiempo la aplicación registrará los datos enviados del módulo.

De igual forma se demostró que la generación del reporte se haya realizado correctamente.

#### *14.1.1 Prueba de módulo de toma de muestras.*

En esta prueba se corrobora el funcionamiento de la aplicación y el módulo dentro de un balde con agua, en esta ocasión se identifica que se recolecten las muestras cuando los comandos sean activados a través de la aplicación.

The screenshot shows a web application window titled 'Form1'. The menu bar contains 'Ingresar Usuario', 'Conexion', 'Optencion de Datos', 'Recoleccion de Muestras', 'Ayuda', and 'Home'. The main content area is divided into two sections. On the left is the logo of 'UNIVERSIDAD EL BOSQUE'. On the right is a panel titled 'RECOLECCION DE MUESTRAS' which contains five input fields labeled 'Muestra1' through 'Muestra5'. Each input field has a 'Start' button to its left.

*Figura 137. Ventana de toma de muestras*



Figura 138. Prueba del módulo de muestras.

Luego de recolectadas las muestras se procedió a abrir el módulo e identificar si las muestras habían sido recolectadas; todo este proceso puede ser evidenciado en el video anteriormente señalado, este se encuentra dentro de nuestro árbol de documentación.

## 15 MANUALES

Para la utilización de los módulos es necesario seguir el *Manual de Inicio Rápido del Snake Robotic System*, ver *Anexo 20.1*.

En algunos casos el módulo de medición puede presentar fallos de calibración de los sensores, para ello es necesario calibrar cada uno de los sensores (Temperatura, O.D, PH, Conductividad), para ello siga el manual de usuario *Procedimiento para la calibración de los sensores*, ver *Anexo 20.2*.

Uno de los procesos más importantes para la correcta utilización de los módulos es asegurar una buena conexión inalámbrica del pc al sistema robótico, para ello es necesario seguir las instrucciones descritas en el manual *Conexión Bluetooth y Aplicativo*, ver *Anexo 20.3*.

## 16 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas para el módulo de medición, donde se probaron individualmente cada uno de los sensores encargado

de medir los parámetros fisicoquímicos de PH, Conductividad, Profundidad, DO, ORP y temperatura.

### 16.1 Prueba Resultado obtenido sensor de temperatura:

En la siguiente figura se puede observar la variación existente entre los datos medidos con el sensor PT1000 en comparación con una termocupla del multímetro UT39C, Dicho instrumento es tomado como nuestra referencia para verificar que el sensor PT1000 que fue montado sobre el módulo esté funcionando dentro de los parámetros adecuados. Para la comparación de estos datos se realizó la medición cada 30s durante 14:30 minutos Realizando la comparación se pudo determinar que el promedio del error porcentual de las mediciones de nuestro instrumento en respecto al del multímetro UT39C es de 4,17%.

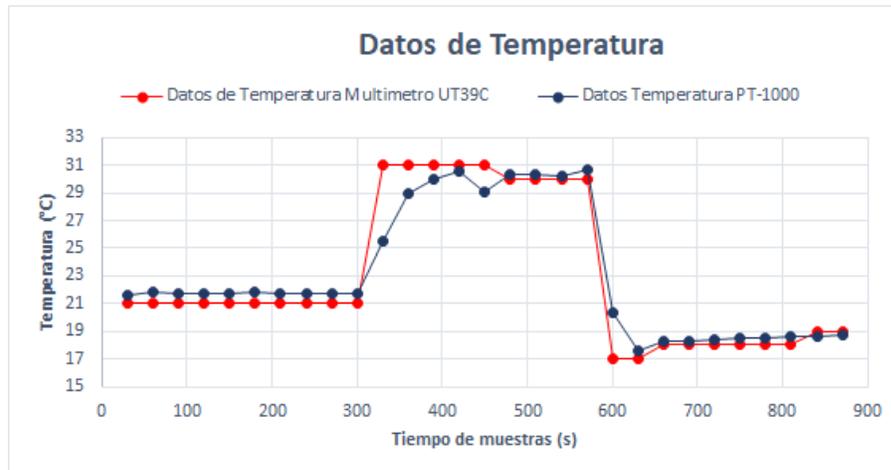


Figura 139. Gráfica de dispersión de los datos de temperatura.

### 16.2 Prueba Resultado obtenido sensor de O.D:

En la siguiente figura se puede observar la variación existente entre los datos medidos con el sensor de O.D instalado sobre el módulo de medición en comparación con los datos teóricos que nos entrega el fabricante AtlasScientific mediante los químicos entregados. Para la comparación de estos datos se realizó la medición cada 30s durante 14:30 minutos. Realizando la comparación se pudo determinar que el promedio del error porcentual de las mediciones de nuestro instrumento en respecto a los valores teóricos es de 3,23%.

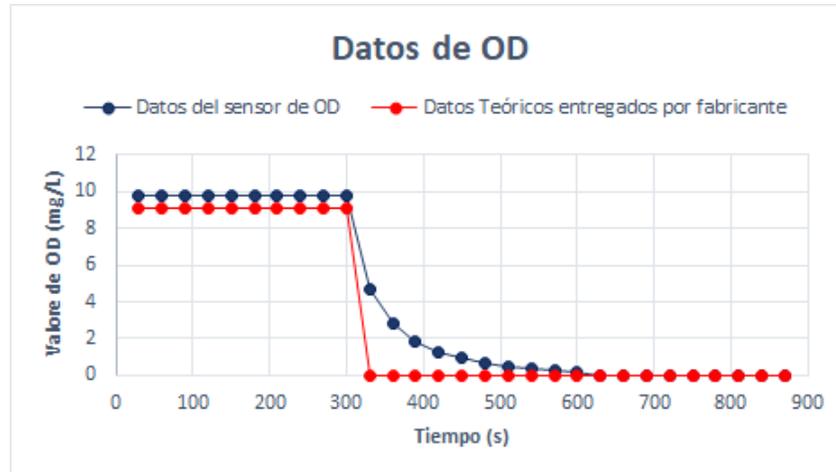


Figura 140. Gráfica de dispersión de los datos de OD.

### 16.3 Prueba Resultado obtenido sensor de PH:

En la siguiente figura se puede observar la variación existente entre los datos medidos con el sensor de PH instalado sobre el módulo de medición en comparación con los datos teóricos que nos entrega el fabricante AtlasScientific mediante los químicos entregados. Para la comparación de estos datos se realizó la medición cada 30s durante 15 minutos. Realizando la comparación se pudo determinar que el promedio del error porcentual de las mediciones de nuestro instrumento en respecto a los valores teóricos es de 10,58%.

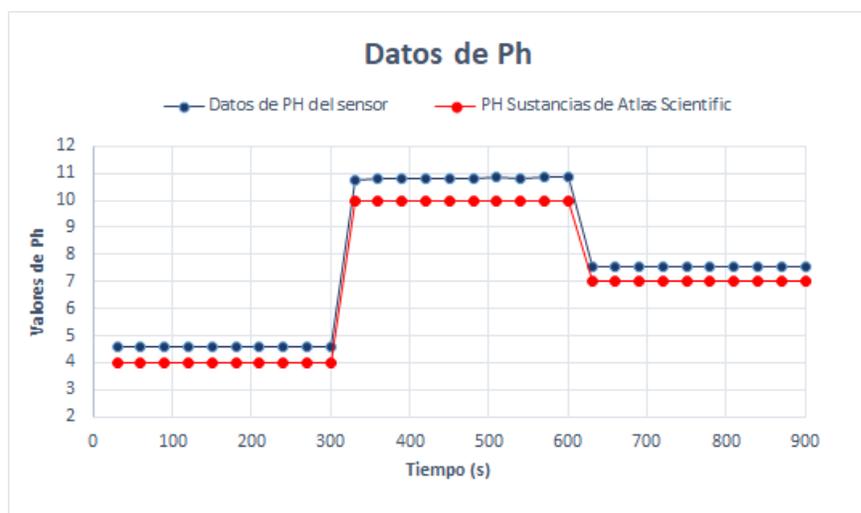


Figura 141. Gráfica de dispersión de los datos de pH.

#### 16.4 Resultado obtenido sensor de Conductividad:

En la siguiente figura se puede observar la variación existente entre los datos medidos con el sensor de conductividad instalado sobre el módulo de medición en comparación con los datos teóricos que nos entrega el fabricante AtlasScientific mediante los químicos entregados. Para la comparación de estos datos se realizó la medición cada 30s durante 10:30 minutos. Realizando la comparación se pudo determinar que el promedio del error porcentual de las mediciones de nuestro instrumento en respecto a los valores teóricos es de 0,50%.

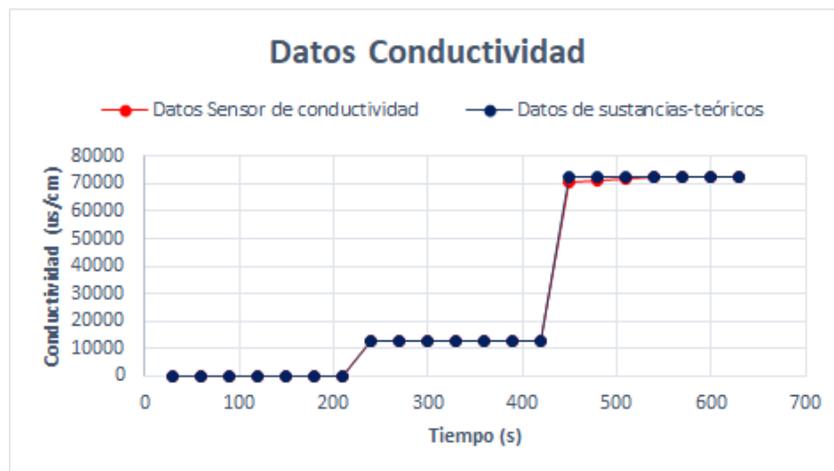


Figura 142. Gráfica de dispersión de los datos de conductividad.

Para que los datos se pudieran observar de mejor forma, se dividieron las gráficas por intervalos.

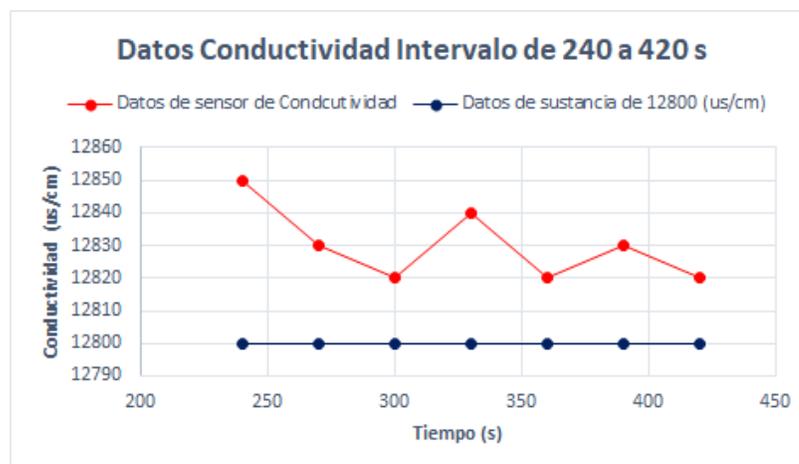


Figura 143. Gráfica de datos de Conductividad en los intervalos de tiempo de 240s a 420s.

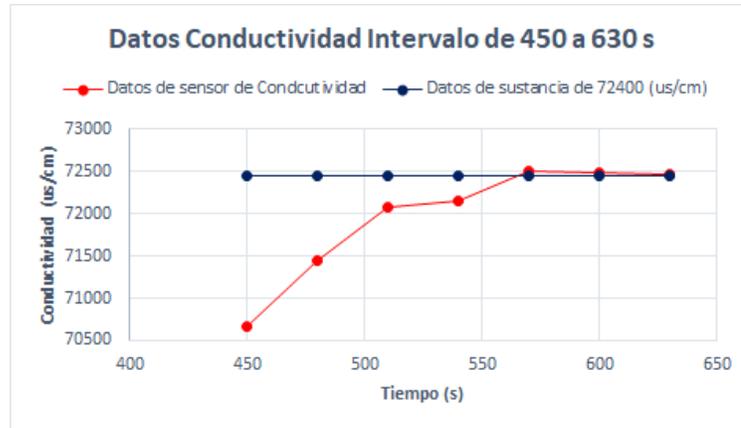


Figura 144. Gráfica de datos de Conductividad en los intervalos de tiempo de 450s a 630s.

### 16.5 Resultado obtenido sensor de ORP:

En la siguiente figura se puede observar la variación existente entre los datos medidos con el sensor de ORP instalado sobre el módulo de medición en comparación con los datos teóricos que nos entrega el fabricante AtlasScientific mediante los químicos entregados. Para la comparación de estos datos se realizó la medición cada 30s durante 10 minutos. Realizando la comparación se pudo determinar que el promedio del error porcentual de las mediciones de nuestro instrumento en respecto a los valores teóricos es de 0,79%.

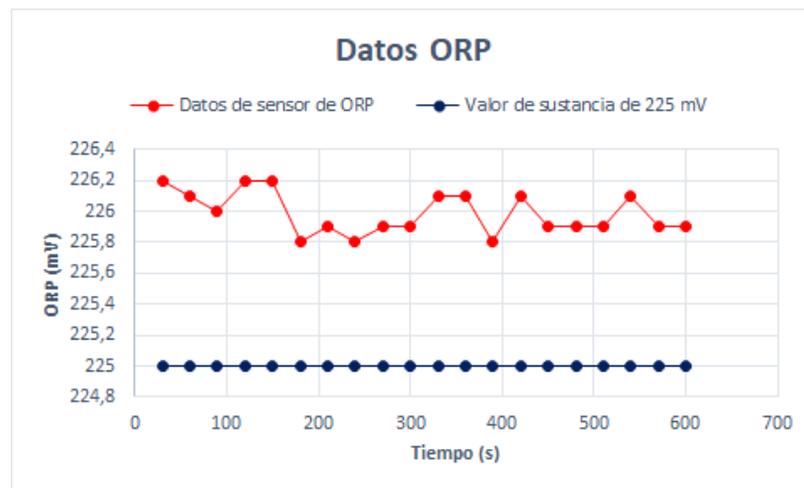


Figura 145. Gráfica de dispersión de los datos de ORP.

### 16.6 Resultado obtenido de la profundidad:

En la siguiente figura se muestran los resultados obtenidos en la implementación del sensor análogo A-100 para la medición de la profundidad del módulo, comparados con los valores medidos por un flexómetro de la referencia Global 8M 1 Pulgadas Ref 30-626LA de la marca Stanley. Dentro de las pruebas realizadas para el sensor se implementó primeramente un sistema con el voltaje de referencia del conversor análogo digital de 5V y posteriormente se implementó una prueba con un voltaje de referencia de 1,1V promediando la lectura analógica de la entrada. Los resultados fueron los siguientes.



Figura 146. Gráfica de datos de profundidad con referencia de 5v.

Con la primera implementación se obtuvo que el sensor tenía un promedio de error del 72,98%.

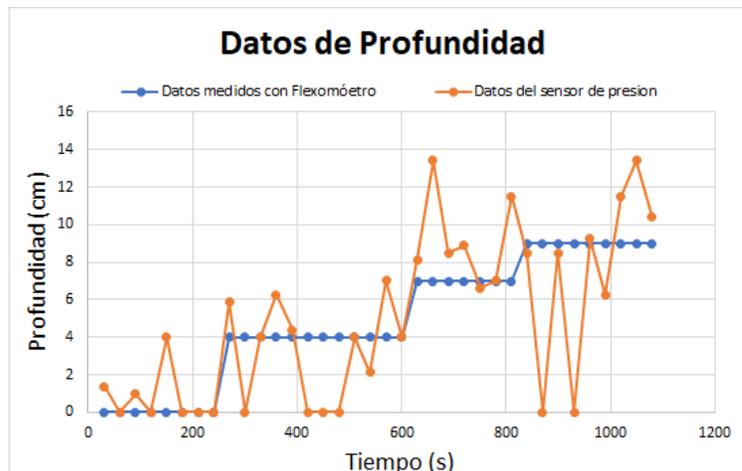


Figura 147. Gráfica de datos de profundidad con referencia de 1.1v.

Con la segunda implementación se obtuvo que el sensor tenía un promedio de error del 44,40%.

**16.7 Resultado obtenido recolección de muestras:**

En la siguiente tabla se muestra los valores de la cantidad de agua recolectada por muestra en la prueba realizada.

*Tabla 49. Cantidad de muestras recolectadas.*

Número de muestra	Cantidad de agua recogida(ml)	Valor del requerimiento requerido (ml)	Porcentaje de error (%)	Tiempo(s)
Muestra 1	28	30	6,66666667	60
Muestra 2	22	30	26,66666667	60
Muestra 3	29	30	3,333333333	60
Muestra 4	17	30	43,33333333	60
Muestra 5	24	30	20	60
Muestra 6	27	30	10	60

**16.8 Resultado obtenido estabilidad en la transmisión de datos:**

Como resultado de los datos obtenidos en la prueba de campo realizado en el estanque de agua en la finca Omega de la vega Cundinamarca donde se leyeron cerca de 88 datos en 3 pruebas distintas, se puede verificar en los reportes generados, que hay errores de envío de tramas en únicamente 3 datos, lo que representa el 3,4% de los datos generados.

**Reporte de Mediciones y Toma De Muestras TANQUE FINCA OMEGA.**

Usuario: MATEO LAMPREA Y JAIME OSORIO  
 Numero de identificación: \*\*\*\*\*  
 Fecha: 04 / 05 / 2019  
 Hora: 06:33:19

PROFUNDIDAD	PH	OD(mg/L)	CONDUCTIVIDAD(S/cm)	ORP(mV)	TEMPERATURA(°C)
0.00	6.620	8.03	54.28	536.6	22.06
0.00	6.625	8.56	54.40	537.1	22.12
0.00	6.627	8.51	54.82	537.2	22.12
0.00	6.627	8.25	54.96	537.7	22.18
0.00	6.633	8.50	131.3	556.4	22.18
0.00	2.912	8.81	364.2	562.1	22.18
0.00	2.943	8.58	312.2	558.2	22.18
0.00	2.966	8.33	299.3	557.7	22.12
0.00	3.087	8.10	246.3	554.5	22.12
0.00	3.220	8.11	176.8	552.7	22.12
0.00	3.655	8.24	177.6	553.1	22.18
0.00	3.819	8.08	158.6	554.5	22.18
0.00	3.815	7.87	148.8	553.1	22.12
0.00	3.914	7.80	137.0	555.1	22.24
0.00	4.097	8.02	107.9	548.7	22.06
0.00	4.173	7.87	108.4	547.2	22.18
0.00	550.4	5.427	8.37	76.38	22.18

*Figura 148. Imagen de uno de los datos con error de trama en la prueba realizada en campo.*

PROFUNDIDAD	PH	OD(mg/L)	CONDUCTIVIDAD(S/cm)	ORP(mV)	TEMPERATURA(°C)
0.00	547.4	5.194	8.29	62.17	22.06
0.00	5.337	8.84	57.81	538.5	22.12
0.00	5.293	8.28	57.13	539.7	22.12
0.00	5.741	8.56	54.68	540.0	22.06
0.00	5.827	8.80	53.87	540.3	22.12
0.00	5.893	8.76	54.28	540.8	22.18

DESCRIPCION: PRUEBA REALIZADA EN TANQUE DE RIEGO DE LA FINCA OMEGA, VERTIENDO EN ESTE VINAGRE.

Figura 149. Imagen de uno de los datos con error de trama en la prueba realizada en campo.

PROFUNDIDAD	PH	OD(mg/L)	CONDUCTIVIDAD(S/cm)	ORP(mV)	TEMPERATURA(°C)
49.98	6.578	8.32	59.04	485.1	22.12
58.31	6.565	8.11	56.71	488.5	22.12
58.31	6.566	8.60	58.82	490.0	22.18
41.65	6.561	8.21	59.02	491.3	22.12
24.99	6.551	8.90	54.88	492.6	22.12
41.65	6.557	8.52	56.31	494.3	22.12
24.99	6.553	8.17	57.27	496.3	22.12
0.00	6.550	8.30	57.27	497.7	22.18
0.00	6.545	8.77	55.63	499.2	22.12
0.00	6.547	8.36	57.27	500.5	22.12
0.00	6.548	8.45	56.17	501.5	22.18
74.97	6.551	8.39	54.14	503.7	22.18
74.97	6.546	8.93	54.82	503.9	22.12
58.31	6.552	8.42	55.22	505.1	22.12
74.97	6.558	8.30	56.45	506.1	22.12
58.31	6.565	8.14	57.53	507.4	22.12
66.64	6.561	8.11	56.71	508.5	22.06
49.98	6.555	8.70	54.28	510.3	22.12
49.98	6.557	8.71	55.36	511.1	22.06
41.65	6.557	8.10	54.54	513.7	22.12
66.64	6.546	8.82	54.82	514.0	22.12
66.64	6.552	8.34	55.77	514.9	22.12
66.64	57.13	517.2	6.552	7.69	22.12
58.31	6.550	7.34	59.46	520.0	22.06
58.31	6.546	7.33	58.07	521.7	22.18

DESCRIPCION: PRUEBA DE MEDICIONES EN TANQUE QUE SURTE AGUA DE ROCIO EN LA FINCA OMEGA

Figura 150. Imagen de uno de los datos con error de trama en la prueba realizada en campo.

## 17 DISCUSIÓN

Dentro del desarrollo de nuestro proyecto de grado se propusieron una serie de requerimientos bases, los cuales a medida que se iba desarrollando cada una de las partes fundamentales del proyecto se comenzaban a cumplir, sin embargo, un pequeño grupo de los requerimientos establecidos un fueron cumplidos; a continuación, expondremos con información recolectada durante nuestro proceso de desarrollo el cumplimiento de los requerimientos establecidos con anterioridad en el capítulo de requerimientos.

### 17.1 Requerimientos de sensores:

A continuación, definiremos el cumplimiento de los requerimientos para los sensores implementados, para ello nos basaremos tanto en la prueba realizada como en la hoja de datos técnica suministrada por el fabricante, para mayor información acerca de los datasheet de cada elemento electrónico implementado en nuestro proyecto puede dirigirse al siguiente link, en el cual encontrará toda la información en nuestro árbol de documentación.

<https://drive.google.com/drive/folders/1GUXTnCTWiv74CuLyKW2VMN4My7rYBaC6?usp=sharing>

### 17.1.1 Requerimientos de sensor de pH:

A continuación, presentamos la información técnica entregada por el datasheet del componente.

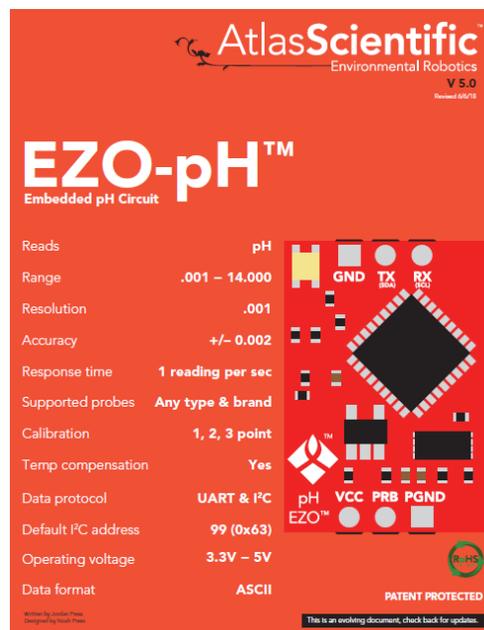


Figura 151. Información técnica del circuito EZO-pH

De acuerdo con esta información suministrada por el fabricante podemos establecer el cumplimiento de los siguientes requerimientos funcionales:

- (“3. El sistema debe medir un pH entre 5 y 9.”), como se puede apreciar el sensor junto con el respectivo circuito acondicionador pueden medir el rango entre 0.001-14.000 de PH.

- (“8. Los tiempos de respuesta de los sensores de pH y nivel de oxigenación deben ser menores a 2 s.”), como se puede apreciar el sensor junto con el respectivo circuito acondicionador tiene un tiempo de respuesta de 1 lectura por segundo.

Sin embargo, de acuerdo con esta información podemos establecer el no cumplimiento del siguiente requerimiento de calidad:

- (“1. La resolución mínima permitida para el sensor de pH debe ser de +/- 0.0001.”), como se puede apreciar en la hoja técnica de datos, la resolución de los datos entregados por el acondicionador de señal es 0.001, sin embargo, este valor es bastante aceptable en la medió de un parámetro cuyo formato de valores están determinados por lo general con dos cifras decimales significativas.

### 17.1.2 Requerimientos de sensor de OD:

A continuación, presentamos la información técnica entregada por el datasheet del componente.

AtlasScientific  
Environmental Robotics  
V 4.7  
Revised 12/13

## EZO-DO™

Embedded Dissolved Oxygen Circuit

Reads	Dissolved Oxygen
Range	0.01 – 100+ mg/L 0.1 – 400+ % saturation
Accuracy	+/- 0.05 mg/L
Response time	1 reading per sec
Supported probes	Any galvanic probe
Calibration	1 or 2 point
Temperature, salinity and pressure compensation	Yes
Data protocol	UART & I <sup>2</sup> C
Default I <sup>2</sup> C address	97 (0x61)
Operating voltage	3.3V – 5V
Data format	ASCII

GND TX RX  
D.O. VCC PRB PGND  
EZO™

PATENT PROTECTED

Designed by Jordan Pease  
Designed by Jordan Pease

This is an evolving document, check back for updates.

Figura 152. Información técnica del circuito EZO-DO

De acuerdo con esta información suministrada por el fabricante podemos establecer el cumplimiento de los siguientes requerimientos funcionales:

- ("5. El sistema debe medir un nivel de oxígeno disuelto entre 0 y 12 mg/L."), como se puede apreciar el sensor junto con el respectivo circuito acondicionador pueden medir el rango entre 0.01-100 mg/L.
- ("8. Los tiempos de respuesta de los sensores de pH y nivel de oxigenación deben ser menores a 2 s."), como se puede apreciar el sensor junto con el respectivo circuito acondicionador tiene un tiempo de respuesta de 1 lectura por segundo.

Sin embargo, de acuerdo con esta información podemos establecer el no cumplimiento del siguiente requerimiento de calidad:

- ("4. La precisión para el sensor de nivel de oxigenación debe ser de +/- 0.05 mg/l."), aunque con la hoja técnica de datos, la precisión de los datos entregados por el acondicionador de señal es +/- 0.05mg/l; en nuestra prueba del sensor se registró un error porcentual de las mediciones de 3,23%, por tal razón no se alcanzó a entregar la precisión requerida por el sensor, sin embargo, el error es mínimo y no varía mucho en relación al valor teórico, en este caso este sensor podría someterse a una calibración mucho más precisa con diferentes sustancias para que el error pueda disminuir y así poder entregar un dato mucho más cercano al valor teórico.

### *17.1.3 Requerimientos de sensor de conductividad:*

A continuación, presentamos la información técnica entregada por el datasheet del componente.



Figura 153. Información técnica del circuito EZO-EC

De acuerdo con esta información suministrada por el fabricante podemos establecer el cumplimiento de los siguientes requerimientos funcionales:

- ("6. El sistema debe medir un nivel de conductividad entre 15a 1500  $\mu\text{S/cm}$ "), como se puede apreciar el sensor junto con el respectivo circuito acondicionador pueden medir el rango entre 0.07-500.000  $\mu\text{S/cm}$ .
- ("11. Los tiempos de respuesta del sensor de conductividad deben ser menores a 3 seg."), como se puede apreciar el sensor junto con el respectivo circuito acondicionador tiene un tiempo de respuesta de 1 lectura por segundo.

De igual manera, de acuerdo con esta información podemos establecer el cumplimiento del siguiente requerimiento de calidad:

- ("5. La precisión para el sensor de conductividad debe ser de +/- 2%."), como se puede apreciar en la hoja técnica de datos, la precisión de los datos entregados por el acondicionador de señal es +/- 2 %; de igual manera en relación a la prueba realizada a este sensor, se registró un error porcentual de las mediciones de 0,50%.

#### 17.1.4 Requerimientos de sensor de ORP:

A continuación, presentamos la información técnica entregada por el datasheet del componente.



Figura 154. Información técnica del circuito EZO-ORP.

En este caso, este sensor no tiene requerimientos relacionados, esto es debido a que fue una extra que se añadió durante el desarrollo del proyecto.

#### 17.1.5 Requerimientos de sensor de temperatura:

A continuación, presentamos la información técnica entregada por el datasheet del componente.

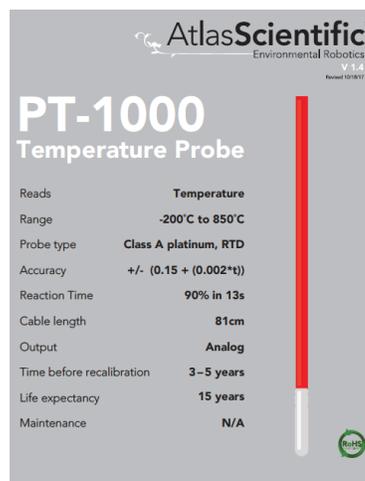


Figura 155. Información técnica del pt 1000

De acuerdo con esta información suministrada por el fabricante podemos establecer el cumplimiento de los siguientes requerimientos funcionales:

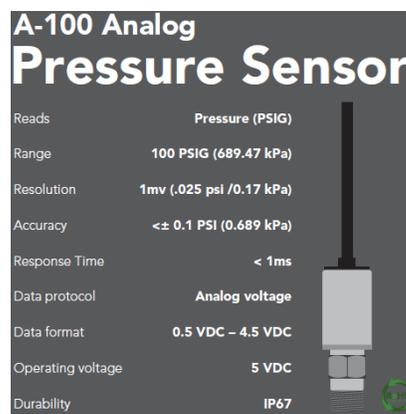
- (“4. El sistema debe medir una temperatura entre 4°C y 25°C.”), en el desarrollo del circuito acondicionador de este sensor se estableció un rango de medición entre 0-30°C.
- (“9. Los tiempos de respuesta del sensor de temperatura deben ser menores a 20 s.”), como se puede apreciar el sensor junto con el respectivo circuito acondicionador tiene un tiempo de respuesta de aproximadamente 15 segundos.

Sin embargo, de acuerdo con esta información y las pruebas realizadas al sensor podemos establecer el no cumplimiento del siguiente requerimiento de calidad:

- (“2. La precisión para el sensor de temperatura debe ser de +/- 0.05°C.”), en nuestra prueba del sensor se registró un error porcentual de las mediciones de 4,17%, por tal razón no se alcanzó a entregar la precisión requerida por el sensor, sin embargo, puede que la diferencia se deba a que el instrumento de referencia elegido “termocupla del multímetro UT39C”, no tenga tanta precisión en la medición real del valor de la temperatura.

#### 17.1.6 Requerimientos de sensor de presión:

A continuación, presentamos la información técnica entregada por el datasheet del componente.



A-100 Analog Pressure Sensor	
Reads	Pressure (PSIG)
Range	100 PSIG (689.47 kPa)
Resolution	1mv (.025 psi /0.17 kPa)
Accuracy	<± 0.1 PSI (0.689 kPa)
Response Time	< 1ms
Data protocol	Analog voltage
Data format	0.5 VDC – 4.5 VDC
Operating voltage	5 VDC
Durability	IP67

Figura 156. Información técnica del sensor de presión

De acuerdo con esta información suministrada por el fabricante podemos establecer el cumplimiento de los siguientes requerimientos funcionales:

- (“1. El sistema debe operar bajo el agua con una profundidad máxima de 2 metros.”), de acuerdo con la información suministrada del datasheet se puede identificar que el rango de medición de este sensor puede llegar hasta los 68 metros de profundidad.
- (“10. Los tiempos de respuesta del sensor de profundidad ser menores a 1 seg.”), como se puede apreciar el sensor tiene un tiempo de respuesta de aproximadamente menor a 1 segundo.

Sin embargo, de acuerdo con esta información y las pruebas realizadas al sensor podemos establecer el no cumplimiento del siguiente requerimiento de calidad:

- (“3 La precisión para el sensor de profundidad debe ser de +/- 10 cm.”), en nuestra prueba del sensor se registró un error porcentual de las mediciones de 72,98%, por tal razón no se alcanzó a entregar la precisión requerida por el sensor, este sensor está sujeto a cambio inminente, debido a que no entrega datos de profundidad exactos y estables para determinar adecuadamente el parámetro físico de la profundidad.

### *17.2 Requerimientos de restricción:*

Dentro de los requerimientos de restricción planteados en nuestro proyecto, podemos identificar el cumplimiento o no de algunos de ellos, a continuación, definiremos el cumplimiento para cada requerimiento establecido.

- (“1. El sistema debe ser adaptable de forma pasiva al Snake robot como módulos adicionales.”), en nuestro caso el desarrollo industrial del prototipo está a cargo del director de proyecto, en el futuro desarrollo del proyecto se espera implementar el acople pasivo entre módulos.
- (“2. Cada módulo en que se subdivide el sistema no puede pesar más de 4 kg.”), este requerimiento fue cumplido de forma satisfactoria, ya que cada

módulo quedo con un peso de 3,2Kg como se puede observar en la siguiente imagen.



*Figura 157. Peso de módulo.*

- (“3. Los módulos deberán tener las mínimas longitudes y diámetros en función a los componentes y baterías necesarios.”), este requerimiento fue cumplido, ya que la tecnología implementada pudo ser adaptada al diseño de los módulos.
- (“4. La prueba de laboratorio, se realizarán en un ambiente controlado; donde los parámetros físico-químicos estén dentro de los rangos medidos y analizados en el estudio realizado por la alcaldía mayor de Bogotá “fase del programa de seguimiento y monitoreo de efluentes industriales y afluentes al recurso hídrico de Bogotá”, realizada en 2010.”), este requerimiento se cumplió en relación a los datos de este estudio fueron tomados cada dos horas durante 24 horas en diferentes cuerpos hídricos de la ciudad de Bogotá, dentro de este estudio se establecieron límites de algunos parámetros físico-químicos; este informe lo puede consultar en el siguiente enlace, ubicado dentro de nuestro árbol de documentación.

[https://drive.google.com/file/d/151H8Mt9fnaT9c\\_myzvmZOHfst2Rs7Bxo/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/151H8Mt9fnaT9c_myzvmZOHfst2Rs7Bxo/view?usp=sharing)

Dentro de los valores límites definidos por este estudio se encuentran:

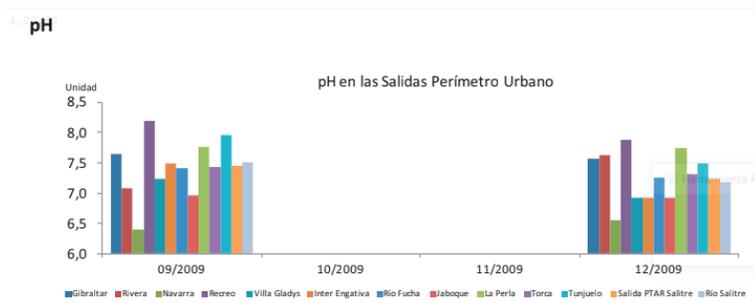


Figura 158. Valores de medición de pH en lagos de Bogotá.



Figura 159. Valores de medición de conductividad en lagos de Bogotá.

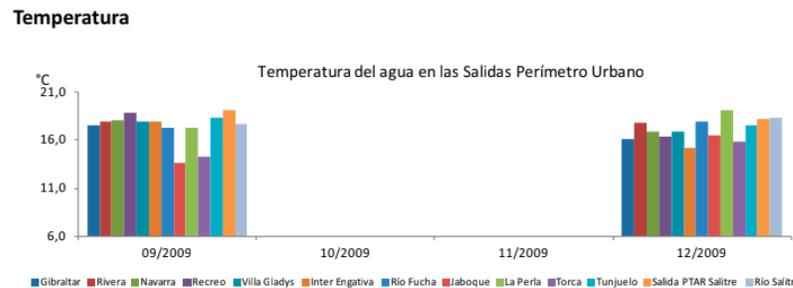


Figura 160. Valores de medición de temperatura en lagos de Bogotá.

### 17.3 Mejoras y oportunidades identificadas:

Dentro de las posibilidades de mejoras para el desarrollo futuro de nuestro proyecto encontramos las siguientes:

- Rediseñar el módulo de muestras, ya que este presenta varios problemas para el cableado de la electrónica y los depósitos de las muestras, esto es debido a que el movimiento del roscado de las tapas afecta de forma considerable elementos como los cables y las mangueras.

- Tener muy en cuenta el apartado del prendido de los módulos, es necesario rediseñar los módulos para que sean mucho más amigables con el usuario para el prendido, apagado y carga de los módulos.
- La adquisición de un sensor de presión es muy necesaria, este sensor debe ser más indicado que el que tenemos a disposición, esto es verificando la información detallada del datasheet, proponemos el sensor A-10 Analog Pressure Sensor de la empresa Atlas Scientific, este sensor tiene un rango de medición mucho menor (6,8 metros) y se ajusta a los límites establecidos en el proyecto (3 metros); esto ayudará a obtener datos muchos más precisos en este parámetro físico.

Sin embargo, pudimos encontrar unas oportunidades dentro del desarrollo de nuestro proyecto, estas pueden ser potenciadas en el futuro desarrollo del proyecto; dentro de las oportunidades más importantes encontramos:

- La conexión inalámbrica del sistema es muy eficiente, esto en relación a la tecnología escogida (Bluetooth), su alcance y velocidades de transmisión son aceptables y bastante rápidas, lo que puede potenciarse en un futuro tanto para el proyecto como para otros sistemas; es de muy bajo costo, muy eficiente y fácil de usar
- Los sensores de PH, ORP, Conductividad y O.D obtenidos de la empresa Atlas Scientific son muy eficientes, entregan datos bastantes precisos y son muy fáciles de usar junto con el kit de acondicionadores de esta misma empresa, tiene velocidades de respuesta mejores en comparación a algunos instrumentos del mercado y lo más importante se adaptan de forma sencilla a tarjetas de adquisición de datos como Arduino o Raspberry.
- El diseño compacto y ligero permite al usuario final poder hacer las mediciones en la mayoría de cuerpos hídricos a cualquier hora, obteniendo datos en tiempo real y bastantes precisos, si se explota esta idea podría ser una herramienta bastante útil para las personas relacionadas con el estudio de los parámetros físico-químicos del agua.

## 18 CONCLUSIONES

Se pudo implementar exitosamente el sistema sensorial escogido durante el diseño funcional del proyecto, sin embargo se pudo observar que se presentó un problema de elección del sensor de presión el cual indirectamente nos entrega el valor de la profundidad; el problema incide en que la resolución del sensor no es la más adecuada a nuestro límite de profundidad (3 metros), por tal razón medidas de la profundidad están determinadas principalmente por una relación de crecimiento de 8.68 cm, esto afecta considerablemente la precisión de esta medida, sin embargo sabemos que este parámetro físico no es tan determinante en el análisis del agua.

Para la implementación del sistema on-board se pudo integrar de manera exitosa tecnologías que nos ayudaron a obtener datos de los sensores de manera rápida y confiable, sin embargo, se encontraron algunos problemas relacionados con la disposición espacial de la electrónica dentro de los módulos (medición y muestras), pero este problema no impidió en ningún momento que se lograra implementar de manera correcta los módulos.

En el diseño de la etapa de comunicación, estudiamos bastantes propuestas; desde que la comunicación fuera implementada directamente en el sistema como que fuera implementada fuera del mismo y vista como un módulo aparte; luego de seleccionada la solución (módulo de comunicación externo), se procedió a la implementación, gracias a la elección perfecta de los componentes que se involucran en el módulo de comunicación se pudo obtener una etapa de comunicación (Interfaz- Módulo) bastante confiable, funcional, con buena velocidad de transmisión de datos y lo más importante con un gran alcance de operatividad (11 metros), facilitando la autonomía del sistema con respecto al usuario.

Uno de los procesos más importantes del proyecto, fue el desarrollo de la interfaz gráfica de comunicación entre el usuario y el módulo, se eligió un diseño bastante compacto y amigable con el usuario esto con el fin de poder crear una herramienta que fuese sencilla de operar frente a un sistema muy complejo de entender; fue un reto poder establecer el sistema de visualización compacto que permitiera obtener los datos de forma sencilla junto con la utilización de herramientas (Reportes en Hoja de cálculo y PDF) que son de mucha utilidad para el análisis de los datos recolectados.

En el capítulo de manuales identificamos todos los procesos importantes que son necesarios para el correcto funcionamiento de los módulos, para ello nos apoyamos muy de cerca con los datasheets de cada uno de los elementos seleccionados e implementados.

Como se puede verificar en los resultados, el sistema sensorial para la medición de pH, O.D, temperatura, conductividad y ORP se pudieron implementar de manera exitosa en el módulo de medición, sin embargo, el sensor de presión elegido en la etapa de diseño para la validación de la profundidad, no se pudo configurar de manera exitosa. La mala elección del sensor fue debido al no tener en cuenta la resolución que este maneja, ya que la mínima escala que este presenta es de 1 mv por cada 0,25 psi lo que representa en profundidad 1,75 cm. Aunque se intentó modificar la escala del convertidor análogo digital variando el voltaje de referencia a 1,1v para que se pudiera validar la profundidad en cada paso de a 1.8cm, se pudo verificar que aunque el sensor intenta medirlos de manera más exacta que al tener la referencia de 5v que está por defecto en el arduino, ya que con esta resolución cada paso corresponde a aproximadamente 8,68 cm , el sensor sigue presentado problemas de estabilidad con la entrega de los datos, es decir puede entregar algunos datos de manera muy aproximada y de un momento a otro enviar cualquier otro valor, lo que hace que no se un sensor muy exacto para ser implementado en el proyecto.

Para la implementación del módulo de medición se utilizó una batería de litio de 7.4V a 500mA, lo que nos ha dado alrededor de los 40 minutos de trabajo con los sensores y el sistema bluetooth, antes de que empiece a fallar. En cuanto al módulo de recolección de muestras, se utilizaron 3 pilas de 7.4V a 500mA, una de estas se encarga de la alimentación de dos arduinos y el sistema bluetooth. dicha pila nos ha dado aproximadamente 30 minutos de trabajo. Las otras 2 pilas que se encuentran en el módulo de recolección de muestras se encuentran dispuesta en paralelo de forma que le dé la suficiente corriente a las bombas peristálticas que pueden soportar un consumo de 12W. Estas pilas dan el rendimiento suficiente para realizar una carga de las 6 tomas de muestras antes de tener que volver a cargarse.

El llenado de cada muestra de agua tiene una duración de 1 minuto trabajando la pila a tope lo que hace que el consumo de energía sea elevado y estas se descarguen de forma rápida.

## 19 REFERENCIAS DOCUMENTALES

- [1] Iván Darío López, Apolinar Figueroa and Juan Carlos Corrales, "Un mapeo sistemático sobre predicción de calidad del agua mediante técnicas de inteligencia computacional," vol. 15, . DOI: 10.22395/rium.v15n28a2.
- [2] A review of physical-chemical parameters as water quality and and contamination indicators, "Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua," vol. 27, .
- [3]A. Aznar Jiménez, "DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS.", Instituto Tecnológico de Química y Materiales "Álvaro Alonso Barba"., vol. 2, no. 23, p. 5, 2000.
- [4]Liljebäck, P., Y. Pettersen, K., Stavadahl, Ø. and Gravadahl, J. (2011). Snake Robots Modelling, Mechatronics, and Control. 1st ed. Series Editors' Foreword, p.1.
- [5] Guoyuan Li et al, "Concept design and simulation of a water proofing modular robot for amphibious locomotion," in 2017, Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8316566>. DOI: 10.1109/ICAMechS.2017.8316566.
- [6] Towards a Real-Time Embedded System for Water Monitoring Installed in a Robotic Sailboat, 1st ed. BRAZIL, 2016, p. 19.
- [7] L. Teng, X. Min, C. Jiahong, Z. Yuanjie and C. De Silva, Automated Water Quality Survey and Evaluation Using an IoT Platform with Mobile Sensor Nodes, 1st ed. China: sensors, 2017, p. 21.
- [8] K. HEMANI and K. GEORGES, Underwater Optical Wireless Communication, 1st ed. Canada: IEEE, 2016, p. 5.
- [9] M. Domingo, Overview of channel models for underwater wireless communication networks, 3rd ed. United States: Physical Communication, 2008, pp. 1-5.
- [10] R. Bogue, Snake robots :A review of research, products and applications, 1st ed. Industrial Robot, 2014, p. 5.
- [11] R. Bogue, Robots for monitoring the environment, 6th ed. Okehampton, UK: reprints, 2011, pp. 560-562.
- [12] P. Liljebäck, K. Pettersen, O. Stavadahl and J. Gravadahl, Robotics and Autonomous Systems, 1st ed. Norway, 2011, p. 6.
- [13]A. Ortiz Rodriguez and J. Perdomo Estevez, "Estudio Piloto Para Recuperar el Lago Del Parque SIMÓN BOLÍVAR, Manteniendo su Equilibrio Biótico", Pregrado, UNIVERSIDAD DE LA SALLE, 2007.
- [14]P. Vega Estefania, "Design, Building and Testing of a Robotic Fish",University of Manchester, 2016.
- [15]*Remotely operated vehicle (ROV) services*. Oslo: NORSOK STANDARD, 2003, pp. 1-17.
- [16]Ensayos de Protección IP (Ingress Protection): Norma IEC 60529", Intertek.es, 2018. [Online]. Available: <http://www.intertek.es/iluminacion/ip-ingress-protection-iec-60529/>. [Accessed: 02- Nov- 2018].

[17] Peristaltic Liquid Pump with Silicone Tubing - 12V DC Power. [Online]. Available: <https://www.adafruit.com/product/1150>.