

**MONITOREO DE NIVEL DE AGUA EN ESTANQUES MEDIANTE RED MODBUS  
PARA CULTIVO DE TRUCHA ARCOÍRIS EN LA ASOCIACIÓN DE  
PISCICULTORES DE SOTARÁ**



**DANIEL CLEMENTE MONTENEGRO GALINDEZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
2017**

**MONITOREO DE NIVEL DE AGUA EN ESTANQUES MEDIANTE RED MODBUS  
PARA CULTIVO DE TRUCHA ARCOÍRIS EN LA ASOCIACIÓN DE  
PISCICULTORES DE SOTARÁ**



**DANIEL CLEMENTE MONTENEGRO GALINDEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico**

**Director:**

**Ing. Daniel Rodrigo Ortega Alegría**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
2017**

**Nota de aceptación**

*En cumplimiento de los requisitos  
legales y reglamentarios se declara  
aprobado el siguiente trabajo.*

---

**Jurado**

---

**Jurado**

---

**Director**

**Popayán, 2017**

## DEDICATORIA

*A DIOS, la gloria sea toda para ti.*

*A mi madre y padre por darme la vida, por brindarme la oportunidad de estudiar, por darme todo lo necesario para salir adelante y lo más importante por ese amor incondicional que he recibido.*

*A mi hermano que ha sido mi compañero, mi segundo papá y mamá desde que salí de casa de mis padres en busca de una mejor educación.*

*A mi familia Montenegro Galindez por siempre creer en mí y apoyarme en todo momento de mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios y a la santísima virgen María por permitirme llegar hasta donde estoy, por protegerme en todo momento guiando cada paso que doy, brindándome salud y ganas de salir adelante, por regalarme el privilegio de estar rodeado de personas tan maravillosas.*

*A mis docentes, gracias por compartir su conocimiento y experiencia conmigo, por su amistad recibida en todo el proceso educativo.*

*A la Corporación Universitaria Autónoma Del Cauca por ser mi segundo hogar durante tantos años, me siento orgulloso de pertenecer a tan prestigiosa institución y darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.*

*A la Asociación de piscicultores de Sotará por permitirme realizar este proyecto y por recibirme siempre con tanta amabilidad.*

*A mis compañeros por todo el apoyo recibido, que además se convirtieron en una familia.*

*A mis familiares y amigos por creer en mí, por darme apoyo para seguir adelante, por el cariño brindado.*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
INTRODUCCIÓN .....	15
1. CAPITULO I: PROBLEMA .....	16
1.1. Planteamiento de problema .....	16
1.2. Justificación.....	17
1.3. Objetivos .....	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
2. CAPITULO II: BASES TEÓRICAS.....	19
2.1. Protocolo Modbus .....	19
2.1.1. Mecanismos de conexión .....	20
2.2. Protocolo RS-485/Eia-485.....	23
2.2.1. Ventajas de RS-485.....	23
2.2.2. La comunicación RS-485 en modo Half Duplex .....	24
2.2.3. La comunicación RS-485 en modo Full Duplex.....	25
2.3. Medición de nivel .....	26
2.3.1. Medidores de nivel de líquidos .....	26
2.4. Comunicación inalámbrica .....	30
2.4.1. Módulos de comunicación inalámbrica .....	30
2.5. Piscicultura.....	44
2.5.1. Piscicultura extensiva .....	44
2.5.2. Piscicultura semi-intensiva .....	44
2.5.3. Piscicultura intensiva .....	45
2.5.4. Piscicultura súper-intensiva .....	45
2.5.5. Calidad y cantidad de agua .....	45
2.5.6. Asociación de piscicultores de Sotara Cauca.....	47
2.6. Dispositivos lógicos programables .....	48
3. CAPITULO III: DISEÑO .....	50
3.1. Subsistema electrónico .....	51
3.1.1. Bloque comunicación.....	52

3.1.2.	Bloque alarma.....	54
3.1.3.	Bloque conversor de protocolo .....	56
3.1.4.	Bloque HMI .....	58
3.1.5.	Bloque lógico .....	60
3.1.6.	Bloque potencia.....	61
3.2.	Subsistema mecánico .....	66
3.2.1.	Bloque sensor.....	66
3.2.2.	Gabinete de contención.....	69
4.	CAPITULO IV: IMPLEMENTACIÓN .....	73
4.1.	Implementación subsistema electrónico.....	73
4.1.1.	Implementación bloque comunicación.....	73
4.1.2.	Implementación bloque alarma.....	75
4.1.3.	Implementación bloque conversor de protocolo .....	76
4.1.4.	Implementación bloque HMI .....	77
4.1.5.	Implementación bloque lógico .....	78
4.1.6.	Implementación bloque potencia .....	79
4.2.	Implementación subsistema mecánico.....	83
4.2.1.	Implementación bloque sensor .....	83
4.2.2.	Implementación gabinete de contención de dispositivos .....	83
4.2.3.	Puesta a punto del sistema .....	92
4.2.4.	Implementación sistema electrónico de monitoreo de nivel de agua y alarma	94
4.2.5.	Ficha técnica.....	97
5.	CAPÍTULO V: PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA .....	100
5.1.	Diseño experimental.....	100
5.1.1.	Prueba 1 .....	100
5.1.2.	Prueba 2 .....	101
5.2.	Pruebas y resultados.....	101
5.2.1.	Prueba I.....	102
5.2.2.	Prueba II.....	104
6.	CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
6.1.	Conclusiones.....	114
6.2.	Recomendaciones.....	115

7. BIBLIOGRAFIA.....	116
8. ANEXOS.....	123
8.1. Anexo 1. Elementos de medición de nivel.....	123
8.1.1. Instrumentos de medida directa.....	123
8.1.2. Instrumentos basados en la presión hidrostática.....	126
8.1.3. Instrumentos basados en el desplazamiento.....	130
8.1.4. Instrumentos basados en características eléctricas del líquido.....	132
8.2. Anexo 2. Manual de usuario, ficha técnica y diagrama circuital de dispositivos.....	138
8.2.1. Manual de usuario.....	138
8.2.2. Ficha técnica de dispositivos.....	139
8.2.3. Diagrama circuital dispositivo maestro.....	142
8.2.4. Diagrama circuital dispositivos esclavos.....	143
8.3. Anexo 3. Tablas de pruebas y resultados.....	144
8.3.1. Prueba 1.....	144
8.3.2. Prueba 2.....	147

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de Modbus, Fuente: [7].....	20
Tabla 2. Propiedades de Modbus / Ascii y Modbus / Rtu, Fuente: [10].....	22
Tabla 3. Comparación tipos de medidores de nivel líquido, Fuente: [12].....	28
Tabla 4. Evolución de las versiones y sus anchos de banda, Fuente: [14] .....	32
Tabla 5. Clases, rango, potencia de salida, Fuente: [14].....	32
Tabla 6. Empresas dedicadas a crear Dispositivos Programables Fuente: Propia	48
Tabla 7. Características TIP 31, Fuente: [49] .....	55
Tabla 8. Consumo Modulo de potencia Maestro, Fuente: Propia .....	62
Tabla 9. Consumo de potencia Dispositivo Esclavo, Fuente: Propia.....	65
Tabla 10. Características de módulo Xbee PRO serie 2B, Fuente: [53] .....	74
Tabla 11. Características de cargador genérico, Fuente: Propia .....	80
Tabla 12. Características Batería seca de 6 VDC, Fuente: Propia .....	82
Tabla 13. Piezas de Dispositivo Maestro, Fuente: Propia .....	84
Tabla 14. Piezas de Dispositivo Esclavo 1, Fuente: Propia .....	87
Tabla 15. Piezas Dispositivo Esclavo 2, Fuente: Propia.....	90
Tabla 16. Ficha técnica dispositivo maestro, Fuente: Propia.....	97
Tabla 17. Ficha técnica dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia.....	98
Tabla 18. Ficha técnica dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia.....	99
Tabla 19. Tiempo de respuesta de los Dispositivos Esclavos, Fuente: Propia .....	100
Tabla 20. Valor de nivel medido con cada dispositivo esclavo, Fuente: Propia....	101
Tabla 21. Datos dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia.....	108
Tabla 22. Datos dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia.....	113
Tabla 23. Ficha técnica dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia.....	139
Tabla 24. Ficha técnica dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia.....	140
Tabla 25. Ficha técnica dispositivo maestro, Fuente: Propia .....	141
Tabla 26. Tiempo de respuesta antena por fuera, Fuente: Propia.....	144
Tabla 27. Tiempo de respuesta con antena por dentro, Fuente: Propia. ....	146
Tabla 28. Valor de nivel medido con cada dispositivo esclavo, Fuente: Propia....	148

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Red Modbus maestro/esclavo, Fuente: [7] .....	20
Figura 2. Estructura de los mensajes modo RTU, Fuente: [4] .....	21
Figura 3. Esquema de una comunicación RS-485 en modo Half Duplex, Fuente: [11] .....	25
Figura 4. Esquema de una comunicación RS-485 en modo Full Duplex, Fuente: [11] .....	25
Figura 5. Comunicación por infrarrojo, Fuente: [13].....	30
Figura 6. Logo de Bluetooth, Fuente: [14] .....	31
Figura 7. Arquitectura de la red GSM, Fuente: [19] .....	36
Figura 8. Diagrama de entrada GSM, Fuente: [19].....	38
Figura 9. Arduino, Fuente [43].....	48
Figura 10. Raspberry Pi, Fuente: [45] .....	48
Figura 11. BeagleBone, Fuente: [47].....	48
Figura 12. Microchip, Fuente: [49] .....	49
Figura 13. Orange Pi, Fuente: [51] .....	49
Figura 14. Interacción Dips. Maestro/Esclavos, Fuente: Propia .....	50
Figura 15. Diagrama de bloques capítulo de Diseño, Fuente: Propia .....	51
Figura 16. Subsistema electrónico, Fuente: Propia .....	52
Figura 17. Modulo comunicación Inalámbrica, Fuente: Propia .....	53
Figura 18. Bloque Alarma, Fuente: Propia .....	54
Figura 19. Circuito de activación de sirena, Fuente: Propia .....	54
Figura 20. SN75176bp, Fuente: [53] .....	57
Figura 21. Bloque conversor de protocolo, Fuente: Propia .....	57
Figura 22. Conexión de SN75176bp al Pic 18f4550, Fuente: Propia .....	58
Figura 23. Bloque HMI, Fuente: Propia.....	59
Figura 24. Pantalla de cristal líquido LCD, Fuente: [54].....	59
Figura 25. Bloque Lógico, Fuente Propia .....	60
Figura 26. Bloque de Potencia, Fuente: Propia .....	62
Figura 27. Modulo Potencia Maestro, Fuente Propia .....	63
Figura 28. Circuito adaptador de tensión para Maestro. Final 1, Fuente: Propia ...	64
Figura 29. Lazo de control abierto adaptador de tensión disp. Maestro, Fuente: Propia.....	64
Figura 30. Diagrama de entradas/salidas bloque, Fuente: Propia .....	65
Figura 31. Circuito adaptador de tensión disp. Disp. Esclavo, Fuente: Propia .....	66
Figura 32. Bloque sensor, Fuente: Propia .....	66
Figura 33. Divisor de tensión, Fuente: [55].....	67
Figura 34. Lazo de control abierto divisor de tensión, Fuente: Propia.....	68
Figura 35. Diseño 3D dispositivo maestro, Fuente: Propia.....	69
Figura 36. Diseño 3D dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia .....	70
Figura 37. Diseño 3D barra graduable dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia.....	70
Figura 38. Diseño 3D medidas dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia .....	71

Figura 39. Diseño 3D dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia .....	71
Figura 40. Diseño 3D barra frontal dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia .....	72
Figura 41. Diseño 3D medidas dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia .....	72
Figura 42. Módulo Xbee PRO serie 2B, Fuente: [56] .....	74
Figura 43. Unidad regulada para módulos Xbee, Fuente: [57] .....	75
Figura 44. Xbee montado en unidad regulada, Fuente: propia.....	75
Figura 45. Sirena de 12V DC, Fuente: [58] .....	76
Figura 46. SN75176BP, Fuente: Propia.....	76
Figura 47. Ubicación de SN75176BP en placa, Fuente: Propia .....	77
Figura 48. Implementación Bloque HMI, Fuente: Propia .....	77
Figura 49. Pic 18F4550, Fuente: [59].....	78
Figura 50. Ubicación Pic18F4550 en placa, Fuente: Propia .....	79
Figura 51. Cargador genérico, Fuente: [60] .....	80
Figura 52. Ubicación del Microcontrolador en la placa, Fuente: Propia .....	81
Figura 53. Batería seca de 6 voltios DC, Fuente: propia .....	81
Figura 54. Lazo de control abierto adaptador de tensión disp. Esclavo, Fuente: Propia.....	82
Figura 55. Medidor de combustible, Fuente: Propia .....	83
Figura 56. Tapa posterior Maestro, Fuente: Propia .....	84
Figura 57. Tapa lateral Maestro, Fuente: Propia.....	84
Figura 58. Tapa base Maestro, Fuente: Propia .....	85
Figura 59. Tapa Frontal, Fuente: Propia.....	85
Figura 60. Dispositivo Maestro, Fuente: Propia.....	86
Figura 61. Estructura Base, Fuente Propia .....	87
Figura 62. Ubicación Switch y Tapa caparazón, Fuente: Propia.....	87
Figura 63. Dispositivo Esclavo 1 internamente, Fuente: Propia .....	88
Figura 64. Ubicación de Sensor de nivel, Fuente: Propia.....	88
Figura 65. Dispositivo Esclavo 1, Fuente: Propia.....	89
Figura 66. Estructura Disp. Esclavo 2, Fuente: Propia.....	90
Figura 67. Caparazón Disp. Esclavo 2, Fuente: Propia .....	90
Figura 68. Componentes internos Disp. Esclavo 2, Fuente: Propia.....	91
Figura 69. Ubicación de Sensor de nivel Disp. Esclavo 2, Fuente: Propia .....	91
Figura 70. Dispositivo Esclavo 2, Fuente: Propia.....	92
Figura 71. Ubicación de Vivienda principal, Fuente: Propia .....	94
Figura 72. Ubicación estanque 1, Fuente: Propia .....	95
Figura 73. Dispositivo Esclavo 1, Fuente: Propia.....	95
Figura 74. Ubicación Estanque 2, Fuente: Propia.....	96
Figura 75. Ubicación Dispositivo Esclavo 2, Fuente: Propia .....	96
Figura 76. Dispositivo maestro, Fuente: Propia.....	97
Figura 77. Dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia .....	98
Figura 78. Dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia .....	99
Figura 79. Grafico tiempo de respuesta esclavo 1, Fuente: Propia .....	102
Figura 80. Grafica tiempo de respuesta esclavo 2, Fuente: Propia .....	103
Figura 81. Comparativo esclavo 1- esclavo 2, Fuente: Propia.....	103

Figura 82. Grafica activación de alarma en nivel bajo, Fuente: Propia .....	104
Figura 83. Grafica activación de alarma en nivel alto, Fuente: Propia .....	106
Figura 84. Grafica activación de alarma en bajo, Fuente: Propia.....	109
Figura 85. Grafica activación de alarma en alto, Fuente: Propia.....	111
Figura 86. Medidor de sonda Varilla, Fuente [12] .....	123
Figura 87. Medidor cinta y plomada, Fuente: [12].....	124
Figura 88. Medidor cristal: normal: A, con armadura: B, Fuente: [12] .....	124
Figura 89. Medidor flotador de conexión directa, Fuente: [12].....	125
Figura 90. Medidor flotador acoplado hidráulicamente, Fuente: [12].....	126
Figura 91. Medidor manométrico, Fuente: [12].....	127
Figura 92. Medidor tipo burbujeo tanque: abierto: A, Cerrado: B Fuente: [12].....	128
Figura 93. Medidor de diafragma, Fuente: [12].....	129
Figura 94. Medidores de presión diferencial en tanque cerrado, Fuente: [12].....	129
Figura 95. Medidor de nivel de desplazamiento, Fuente: [12] .....	131
Figura 96. Medidor de nivel resistivo, Fuente: [12] .....	133
Figura 97. Medidor de capacidad, Fuente: [12] .....	134
Figura 98. Transductor ultrasónico, Fuente: [12].....	135
Figura 99. Medidor de nivel radiactivo, Fuente: [12].....	136
Figura 100. Medidor de nivel laser, Fuente: [12] .....	137
Figura 101. Dispositivo esclavo 1-ficha técnica, Fuente: Propia .....	139
Figura 102. Dispositivo esclavo 2-ficha técnica, Fuente: Propia .....	140
Figura 103. Dispositivo maestro-ficha técnica, Fuente: Propia.....	141
Figura 104. Diagrama circuital dispositivo maestro, Fuente: Propia .....	142
Figura 105. Diagrama circuital dispositivo esclavo, Fuente: Propia .....	143

## **RESUMEN**

El presente trabajo se realizó con el fin de mejorar el sistema tradicional de monitoreo del nivel de agua en estanques contenedores de peces que se encuentran ubicados en la estación piscícola SAN ROQUE, la cual hace parte de la asociación de piscicultores de Sotará Cauca. Para ello, se desarrolló un sistema electrónico de monitoreo y alarma enfocado en el sensado del nivel de agua en dos estanques de la estación piscícola y que a su vez eran monitorizados remotamente por medio de un dispositivo coordinador el cual contaba con una comunicación inalámbrica de forma maestro-esclavo.

En este documento, se definen el protocolo de comunicación entre el dispositivo maestro y esclavo; los elementos electrónicos y equipos de medición utilizados; las fuentes de alimentación para cada dispositivo y también se describen sus principales características y funcionalidades. Por último, se presentan algunos resultados y las respectivas conclusiones.

**PALABRAS CLAVE:** comunicación inalámbrica, maestro-esclavo, monitoreo de nivel, piscicultura, protocolo de comunicación, sistema electrónico.

## **ABSTRACT**

The present work was done in order to improve the traditional system of monitoring the level of water in fish ponds that are located in the fish station SAN ROQUE, which is part of the association of fish farmers of Sotará Cauca. For this purpose, an electronic monitoring and alarm system was developed focusing on the sensing of the water level in two ponds of the fish season and that in turn were monitored remotely by means of a coordinating device which had a wireless communication of form Master-slave.

In this document, the communication protocol between the master and slave device is defined; Electronic elements and measuring equipment used; The power supplies for each device and also describes its main features and functionalities. Finally, some results and the respective conclusions are presented.

**KEYWORDS:** Wireless communication, master-slave, level monitoring, fish farming, communication protocol, electronic system.

## INTRODUCCIÓN

La piscicultura en Colombia ha tenido un gran crecimiento según la FEDERACIÓN COLOMBIANA DE ACUICULTORES (**FEDEACUA**). “Durante los últimos diez años presentó un crecimiento sostenido del orden del 10,69%, al pasar de 39.774 toneladas en 2004 a 97.227 toneladas en 2014” [1]. Lo anterior, es una evidencia de que efectivamente la piscicultura tiene un gran aporte al sector económico del país. Los datos que entrega FEDEACUA son alentadores para los empresarios de grandes y pequeñas empresas del sector piscícola, para que siga creciendo cada vez más esta cifra, “la cual pone a Colombia como un gran exportador de pescado a estados unidos” [2].

En el municipio de Sotará Cauca se encuentra la asociación de piscicultores de Sotará, que cuenta con 5 estaciones piscícolas, las cuales están a cargo de indígenas y campesinos, quienes se han interesado por evolucionar los métodos tradicionales utilizados para la crianza de los peces y por implementar sistemas electrónicos para facilitar este arduo trabajo que es el de la cría de este animal.

Teniendo en cuenta lo anterior, la asociación de piscicultores de Sotará requería de un sistema de monitoreo del nivel de agua en los estanques, para el cual se planteó el proyecto de **MONITOREO DE NIVEL DE AGUA EN ESTANQUES MEDIANTE RED MODBUS PARA CULTIVO DE TRUCHA ARCOÍRIS EN LA ASOCIACIÓN DE PISCICULTORES DE SOTARÁ**. Donde se pretende la inclusión de un sistema que realice un monitoreo las 24 horas del día abarcando horarios en los cuales el operario se encuentra realizando otra actividad dentro de la estación piscícola.

## **1. CAPITULO I: PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento de problema**

En el municipio de Sotará Cauca se encuentra la asociación de Piscicultores, la cual está conformada por indígenas y campesinos que se dedican a la venta de peces y comercialización de carne de trucha. Durante el proceso del cultivo de trucha es importante mantener un nivel adecuado de agua en el estanque para no tener pérdidas de peces, ya que si el nivel del agua es muy bajo o sobrepasa un límite determinado los peces podrían morir. Si esto llega a ocurrir se debe actuar de inmediato, ya sea colocando otra fuente de agua u oxigenando los estanques que no estn monitoreados las 24 horas del día, ya que solo se necesitan 20 minutos para que ocurra un desabastecimiento de agua ocasionando una perdida completa de la producción. Además los estanques estn situados aproximadamente a 200 metros de la persona encargada del monitoreo, lo que implica mayor desplazamiento y pérdida de tiempo.

Por esta razón, se plantea la siguiente pregunta de investigación: Cmo desarrollar un sistema de monitoreo de nivel de agua en estanques mediante red Modbus para cultivo de trucha arcoíris que indique una señal de alarma remota de forma inalámbrica al encargado de la estación piscícola cuando se presente una perturbación capaz de echar a perder toda la producción de trucha en la asociación de piscicultores de Sotará Cauca?

Para responder a esta pregunta de investigación se plantean los objetivos de este proyecto.

## 1.2. Justificación

Durante el último año, en la asociación de piscicultores de Sotará se registraron dos toneladas de pérdida de peces debido a la disminución del nivel del agua en los estanques. Por eso la implementación de este sistema electrónico es importante, ya que cuenta con dos etapas: la primera es la parte de censado del nivel del estanque; y la segunda es alertar de forma inalámbrica desde una distancia remota cuando el nivel de agua del estanque no sea el correcto.

Además, se debe tener en cuenta, que con este sistema no se va a mejorar ni a optimizar la producción de peces, debido a que es un sistema de prevención de bajo costo; pero si permitirá disminuir la pérdida de peces en caso de que haya ausencia de agua en los estanques, lo que animará a los cultivadores para que implementen este sistema.

Por otra parte, para que el sistema funcione es apropiado diseñar e implementar una red de campo basada en el protocolo Modbus, ya que este es un protocolo industrial que se implementa sobre redes de comunicación RS-485, RS-232 permitiendo monitorear las variables del procesos desde un solo punto, además de brindar seguridad gracias a su antigüedad en la industria [3].

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Implementar una red de campo basada en el protocolo Modbus para monitorear el nivel de agua en un estanque contenedor de peces y alertar cuando el nivel de agua en el estanque no sea el indicado.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Diseñar el sistema electrónico de monitoreo remoto y alarma.
- Diseñar la red de campo basada en protocolo Modbus para el sistema de monitoreo.
- Implementar el sistema electrónico de monitoreo remoto y alarma.
- Evaluar el prototipo mediante un caso de estudio

## 2. CAPITULO II: BASES TEÓRICAS

### 2.1. Protocolo Modbus

El protocolo Modbus fue desarrollado por la empresa Modicon, que forma parte de la *Schneider Automation*. En el protocolo está definido el formato de los mensajes utilizados por los elementos que hacen parte de la red Modbus, los servicios (o funciones) que pueden ser ofrecidos vía red, y también como estos elementos intercambian datos en la red [4].

Modbus es un protocolo de mensajería de la capa de aplicación, posicionado en el nivel 7 del modelo OSI, que proporciona comunicación maestro-esclavo entre dispositivos conectados a diferentes tipos de buses o redes. Modbus es el estándar de comunicación serial industrial desarrollado en 1979, que ha permitido comunicarse a millones de dispositivos de automatización [5].

Modbus funciona siempre en modo maestro-esclavo, siendo el maestro quien controla en todo momento las comunicaciones con los esclavos, cuyas direcciones van desde 1 hasta 247 (dirección de 8 bits), ver figura 1. Los esclavos se limitan a retornar los datos solicitados o a ejecutar la acción indicada por el maestro. Modbus especifica el procedimiento que el maestro y el esclavo utilizan para intercambiar datos, el formato de estos datos, y como se tratan los errores. No especifica estrictamente el tipo de red de comunicaciones a utilizar, por lo que se puede implementar sobre redes basadas en Ethernet, RS-485, RS-232, etc. [6].

La siguiente tabla muestra las características de la estructura de red de Modbus.

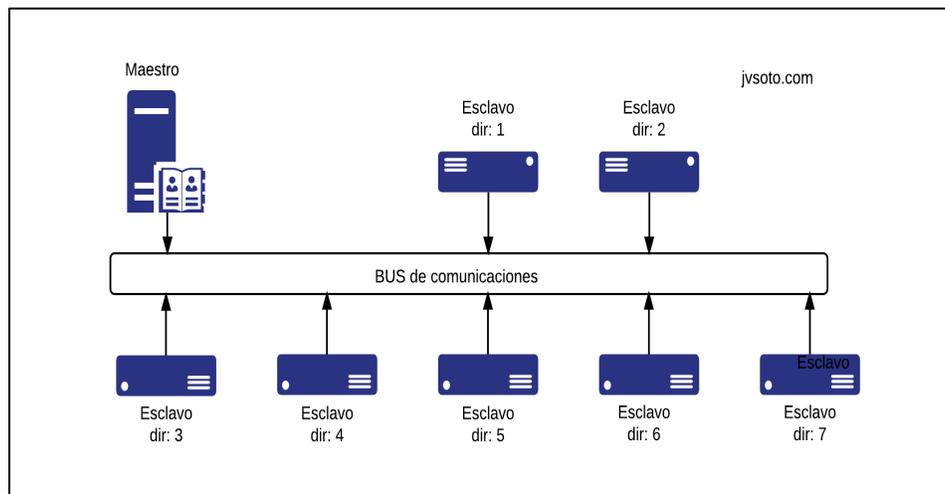


Figura 1. Red Modbus maestro/esclavo, Fuente: [7]

Tabla 1. Características de Modbus, Fuente: [8]

Parámetro	Característica	
Medio físico de conexión bus	Semidúplex	half dúplex, RS-485, fibra óptica
	Dúplex	full dúplex, RS-422, BC 0-20mA, fibra óptica
Comunicación	Asíncrona	
Velocidades de transmisión previstas	Desde 75 baudios a 19200 baudios	
Máxima distancia entre estaciones depende del nivel físico	Puede alcanzar hasta 1200 metros sin repetidores	
Estructura lógica	De tipo maestro-esclavo	
Acceso al medio controlado por	maestro	
Número máximo de estaciones previsto	63 esclavos más 1 estación maestro	

### 2.1.1. Mecanismos de conexión

MODBUS es un protocolo maestro/esclavo en el cual cada solicitud del maestro es tratado de forma independiente por el esclavo, sin relación con las anteriores. Esto facilita proveer transacciones de datos resistentes a rupturas, requiriendo mínima información de recuperación para mantener una transacción en cualquiera de los dos terminales [9].

De otro lado, las operaciones de programación esperan una comunicación orientada a la conexión, es decir, las máquinas de origen y de destino deben establecer un canal de comunicaciones antes de transferir datos. Este tipo de operaciones son implementadas de diferentes maneras por las diversas variantes de MODBUS (Modbus RTU, Modbus ASCII,) [9].

En Modbus / ASCII, los mensajes se codifican con valor hexadecimal, representada con caracteres ASCII completos. Los caracteres utilizados para esta codificación son 0 - 9 y A - F. Por cada byte de información, la comunicación de dos bytes se utiliza porque cada comunicación bytes sólo puede definir 4 bits en el sistema hexadecimal [10].

La red Modbus-RTU utiliza el sistema maestro-esclavo para el intercambio de mensajes. Toda comunicación inicia con el maestro haciendo una solicitud a un esclavo, y este contesta al maestro el que fue solicitado. En ambos los telegramas (pregunta y respuesta), la estructura utilizada es la misma: Dirección, Código de la Función, Datos y Checksum. Solo el contenido de los datos posee tamaño variable, ver figura 2 [4].

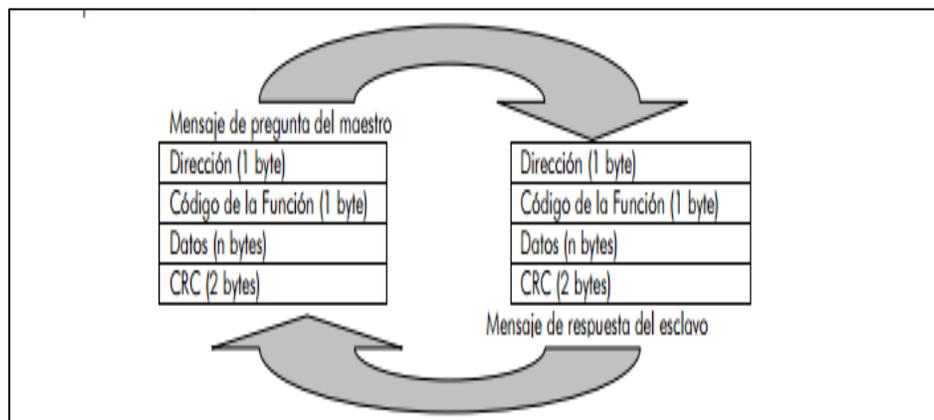


Figura 2. Estructura de los mensajes modo RTU, Fuente: [4]

En la tabla 2, se muestran las características de Modbus ASCII y Modbus RTU.

Tabla 2. Propiedades de Modbus / Ascii y Modbus / Rtu, Fuente: [10]

Modbus / ASCII		Modbus / RTU		
<b>Caracteres</b>	ASCII <b>0 ... 9 y A .. F</b>	Binaria <b>0 ... 255</b>		
<b>comprobación de errores</b>	<b>LRC</b> Longitudinal Redundancy Check	<b>CRC</b> Comprobación de redundancia cíclica		
<b>inicio de trama</b>	carácter ' : '	3.5 caracteres silencio		
<b>extremo del bastidor</b>	caracteres <b>CR / LF</b>	3.5 caracteres silencio		
<b>Las brechas en el mensaje</b>	1 segundo	1,5 veces longitud de carbonización		
<b>bit de inicio</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		
<b>Bits de datos</b>	<b>7</b>	<b>8</b>		
<b>Paridad</b>	par / impar	Ninguna	par / impar	Ninguna
<b>Bits de parada</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

## **2.2. Protocolo RS-485/Eia-485**

Cuando se necesita transmitir a largas distancias o con más altas velocidades que RS-232, RS-485 es la solución, este protocolo cuenta con características de funcionamiento especiales, entre ellas está la longitud de enlace. Dependiendo de la distancia, velocidad de transmisión y los circuitos integrados que utilicemos, se pueden conectar hasta 32 nodos con un simple par de cables [11].

### **2.2.1. Ventajas de RS-485**

Esta interface tiene muchas ventajas con respecto a RS 232, entre las cuales se mencionan:

#### **a. Bajo costo**

Los Circuitos Integrados para transmitir y recibir son baratos y solo requieren una fuente de +5V para poder generar una diferencia mínima de 1.5v entre las salidas diferenciales. En contraste con RS-232 que en algunos casos requiere de fuentes dobles para alimentar algunos circuitos integrados [11].

#### **b. Capacidad de interconexión**

RS-485 es una interface multi-enlace con la capacidad de poder tener múltiples transmisores y receptores. Con una alta impedancia receptora, los enlaces con RS-485 pueden llegar a tener a lo máximo hasta 256 nodos [11].

### **c. Longitud de Enlace**

En un enlace RS-485 puede tener hasta 4000 pies de longitud, comparado con RS-232 que tiene unos límites típicos de 50 a 100 pies [11].

### **d. Rapidez**

En un enlace RS-485 la velocidad máxima es de 10 Mbps a una distancia de 12 metros [11].

## **2.2.2. La comunicación RS-485 en modo Half Duplex**

El término Half Duplex en un sistema de comunicación se refiere, a que solamente en un tiempo determinado, el sistema puede transmitir o recibir información, sin embargo no lo puede hacer al mismo tiempo. En muchos enlaces del tipo RS-485 se comparte el BUS [11].

Como se puede observar existe una línea de control, la cual habilita a los controladores en un solo sentido. Por lo tanto, se debe tener cuidado de no transmitir y recibir al mismo tiempo, ya que se podría crear una superposición de información. La figura 3 muestra el esquema de una comunicación RS-485 en Modo Half Duplex [11].

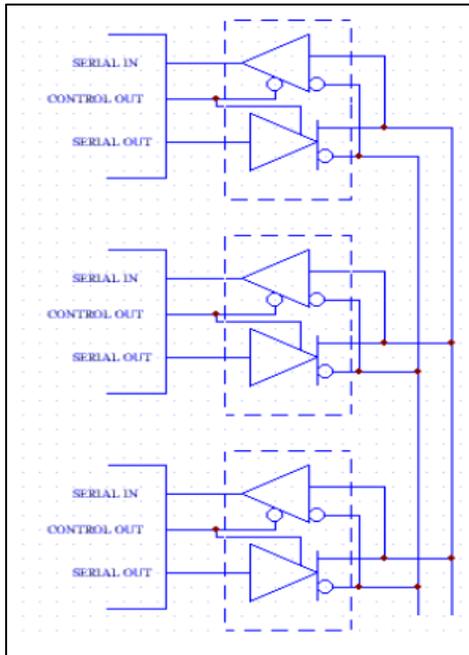


Figura 3. Esquema de una comunicación RS-485 en modo Half Duplex, Fuente: [11]

### 2.2.3. La comunicación RS-485 en modo Full Duplex

El término Full Duplex se refiere a que un sistema puede transmitir y recibir información simultáneamente. Bajo este concepto la interfaz RS-485 está diseñada para sistemas multipunto; esto significa que los enlaces pueden llegar a tener más de un transmisor y receptor, ya que cada dirección o sea Transmisión y Recepción tienen su propia ruta. La figura 4 muestra lo anteriormente dicho [11].

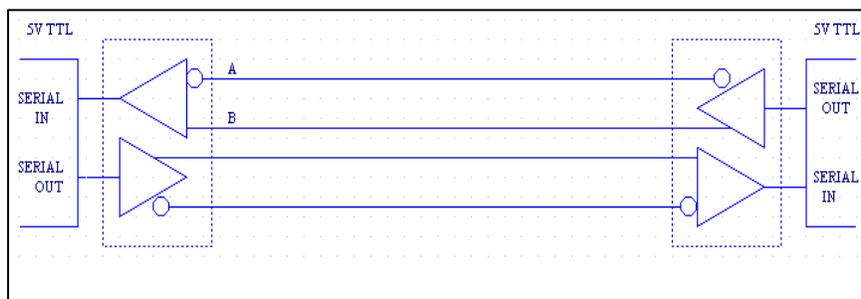


Figura 4. Esquema de una comunicación RS-485 en modo Full Duplex, Fuente: [11]

### **2.3. Medición de nivel**

En la industria, la medición de nivel es muy importante, desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso, así como también de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales [12].

La medición de nivel se puede hacer a materia prima líquida o sólida, por lo tanto existen instrumentos totalmente diferentes de medición de nivel, en este caso solo hablará de los medidores de nivel líquidos ya que el proyecto va encaminado a un estanque con agua.

#### **2.3.1. Medidores de nivel de líquidos**

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, directamente la altura del líquido sobre una línea de referencia, la presión hidrostática, el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o aprovechando características eléctricas del líquido [12].

Los instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal e instrumentos de flotador [12].

Los instrumentos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática se dividen en: medidor manométrico, medidor de membrana, medidor de tipo burbujeo y medidor de presión diferencial de diafragma [12].

Los instrumentos que utilizan características eléctricas del líquido se clasifican en: medidor resistivo, medidor conductivo, medidor capacitivo, medidor ultrasónico, medidor de radiación y medidor laser [12].

Cada instrumento de medición de nivel fue estudiado con el fin de poder seleccionar el adecuado para este proyecto, ver anexo 1.

A continuación, se muestran cada uno de los instrumentos con sus respectivas características, ver tabla 3.

**Tabla 3. Comparación tipos de medidores de nivel líquido, Fuente: [12]**

Instrumento	Campo de medida	Precisión % escala	Pres. máximo bar	Temperatura. Max fluido °C	Desventajas	Ventajas
Sonda	Limitado.	0,5 mm	Atm.	60	Manual, sin olas. Tanques abiertos	Barato, preciso
Cristal	>>	>>	150	200	Sin transmisión	Seguro, preciso
Flotador	0-10m	±1-2%	400	250	Posible agarrotamiento	Simple, independiente. Naturaleza líquida
Manométrico	Alt. Tanque	±1%	Atm.	60	Tanques abierto, fluidos limpios	Barato
Membrana	0-25m	±1%	>>	60	Tanques abiertos	Barato
burbujeo	Alt. Tanque	±1%	400	200	Mantenimiento contaminación líquido	Barato, versátil
Presión diferencial	0.3m	±0,15% a ±0,5%	150	200	Posible agarrotamiento	Interfaces líquido
Desplazamiento	0-25m	±0,5%	100	170	Expuesto a corrosión	Fácil limpieza, robusto, interfaces

Conductivo	Limitado	--	80	200	Líquido conductor	Versátil
Capacitivo	0,6 m	±1%	80-250	200-400	Recubrimiento electrodo	Resistencia, corrosión
Ultrasónico	0,30 m	±1%	400	200	Sensible a densidad	Todo tipo de tanques y líquidos
Radar	0-30 m	±2,5 mm			Sensible a la constante eléctrica	>> y líquidos con espuma
Radiación	0-2,5 m	±0,5-2%	--	150	Fuente radiactiva	>> y sin contacto líquido
Láser	0-2 m	±0,5-2%	--	1500	Láser	>>y sin contacto líquido

Luego de estudiar los distintos medidores de nivel para líquidos se decidió para el proyecto MONITOREO DE NIVEL DE AGUA EN ESTANQUES MEDIANTE RED MODBUS PARA CULTIVO DE TRUCHA ARCOÍRIS EN LA ASOCIACIÓN DE PISCICULTORES DE SOTARÁ utilizar un medidor de tipo flotador, este es uno de los sistemas más antiguos, a pesar de que este está expuesto al aire libre y podría sufrir daños en algún caso inesperado, este se adecua perfectamente a las características del proyecto ya que es de bajo costo y de buena calidad, además de percibir algún cambio en el nivel de agua de forma rápida.

## 2.4. Comunicación inalámbrica

Cuando los medios de unión entre sistemas no son con cables. Sus principales ventajas son que permiten una facilidad de desplazamiento y reubicación, evitando la necesidad de establecer un cableado y rapidez en la instalación. Las técnicas utilizadas son: por Infrarrojos (IR), y por radiofrecuencia (RF) [13].

- **Infrarrojo:** sólo permiten comunicaciones para pequeñas distancias, los puntos de conexión deben ser siempre visibles, el campo de aplicación es limitado, su uso aún es muy extendido, ver figura 5 [13].

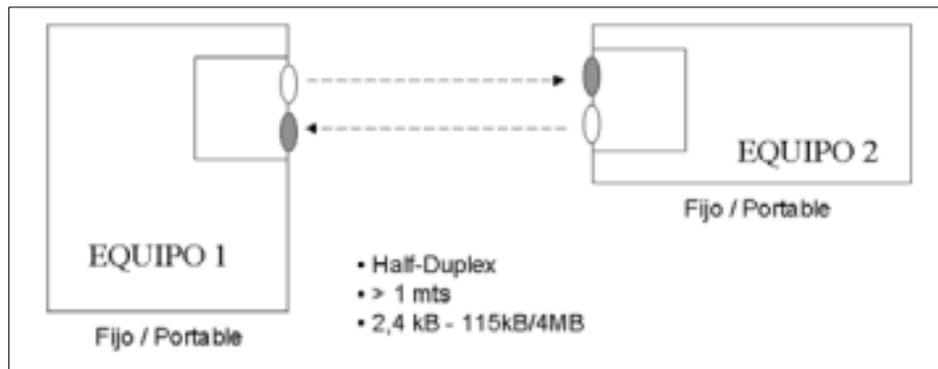


Figura 5. Comunicación por infrarrojo, Fuente: [13]

- **Radiofrecuencia:** permite comunicaciones de corto y mediano alcance, puede atravesar obstáculos y paredes, su campo de aplicación es muy grande [13].

### 2.4.1. Módulos de comunicación inalámbrica

A continuación, se describen la variedad de módulos utilizados para la comunicación inalámbrica:

### 2.4.1.1. Bluetooth

Tecnología que provee un camino fácil para la comunicación entre dispositivos a altas velocidades, sin el uso de cables. Ésta pertenece a la especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN). Posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz [14].

En 1998, un grupo de industrias líderes en computadoras y telecomunicaciones, incluyendo Intel, IBM, Toshiba, Ericsson y Nokia, estuvieron desarrollando dicho dispositivo. Éstos formaron entonces un grupo de intereses especiales (Special Interests Group - SIG). El SIG fue rápidamente ganando nuevos miembros; como las compañías 3Com, Axis Communication, Compaq, Dell, Lucent Technologies UK Limited, Motorola, Qualcomm y Xircom [14].



Figura 6. Logo de Bluetooth, Fuente: [14]

#### 2.4.1.1.1. Datos técnicos tecnología de Bluetooth

En sus comienzos, la especificación de Bluetooth definía un canal de comunicación de máximo 720Kbit/s con rango óptimo de 10 metros. Hoy en día, con la versión 4.0, el ancho de banda llega a los 24 Mbit/s. La tabla 4 muestra la evolución de las versiones y sus anchos de banda [14].

**Tabla 4. Evolución de las versiones y sus anchos de banda, Fuente: [14]**

<b>Versión</b>	<b>Ancho de banda</b>
Versión 1.2	1 Mbit/s
Versión 2.0 + EDR	3 Mbit/s
Versión 3.0 + HS	24 Mbit/s
Versión 4.0	24 Mbit/s

De acuerdo a sus clases, se puede ver el rango y potencias de salida en la siguiente tabla [14]:

**Tabla 5. Clases, rango, potencia de salida, Fuente: [14]**

<b>Clase</b>	<b>Potencia de salida máxima (mW)</b>	<b>Potencia de salida mínima (dBm)</b>	<b>Rango (aproximado)</b>
Clase 1	100 mW	20 dBm	100 metros
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	10 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	~1 metro

La frecuencia de radio con la que trabaja está en el rango de 2.4 a 2.48 Ghz, con amplio espectro. Tiene la posibilidad de transmitir en full duplex con un máximo de 1600 saltos/s. Los saltos de frecuencia se dan entre un total de 79 frecuencias con intervalos de 1Mhz [14].

La topología de las redes Bluetooth puede ser punto-a-punto o punto-a-multipunto [14].

#### **2.4.1.1.2. Protocolo bluetooth**

La pila está constituida por dos clases de protocolos [14]:

Una primera clase llamada de protocolos específicos que implementa los protocolos propios de Bluetooth; y una segunda clase formada por el conjunto de protocolos adoptados de otras especificaciones [14].

Esto permite aprovechar un conjunto muy amplio de ventajas de ambas, así como la posibilidad de que Bluetooth este abierto a implementaciones libres o nuevos protocolos de aplicación de uso común [14].

La pila de protocolos se puede dividir en cuatro capas lógicas [14]:

- Núcleo de Bluetooth: Radio, Banda Base, LMP, L2CAP, SDP
- Sustitución de cable: RFCOMM
- Protocolos adoptados: PPP, UDP, TCP, IP, OBEX, WAP, IRMC, WAE
- Control de telefonía: TCS-binary, AT-Commands

#### **2.4.1.1.3. Formato de paquetes**

En Bluetooth todos los datos que se envían a través del canal son fragmentados y enviados en paquetes. Además la información se encuentra protegida mediante códigos detectores y/o correctores de errores. En cada ranura solo se puede enviar un paquete. El receptor los recibirá y los procesará empezando por el bit menos significativo [14].

#### 2.4.1.1.3.1. Composición del paquete [14]:

- **Código de acceso (72 bits):** Es usado para sincronización, identificación y compensación.
- **Cabecera (54 bits):** Contiene información del control de enlace con 6 campos:
  1. **Dirección o AM\_ADDR:** dirección temporal de 3 bits que se utiliza para distinguir los dispositivos activos en una piconet, siendo la dirección 000 la dirección broadcast.
  2. **Tipo:** Define qué tipo de paquete es enviado y cuántos slots va a ocupar.
  3. **Flujo o Flow:** El bit de control de flujo es usado para notificar al emisor cuándo el buffer del receptor está lleno y que debe de dejar de transmitir, en ese caso el bit tendrá el valor “0”.
  4. **ARQN:** bit de reconocimiento de paquetes recibidos paquetes correcto o incorrecto (último paquete recibido). Si es un “1” es un ACK, y con un “0” un NAK.
  5. **SEQN:** bit que se va invirtiendo para evitar retransmisiones en el receptor.
  6. **HEC:** Código de redundancia para comprobar errores en la transmisión.
- **Campo de datos o carga útil (hasta 2746 bits):** Contiene el conjunto de datos que supone la información a transmitir.

A continuación se listan algunos módulos de comunicación inalámbrica por Bluetooth que se encuentran fácilmente en el mercado:

- a. **Módulo Bluetooth V.4.0 BLE-CC41-A [15].**
- b. **Módulo Bluetooth BLK-MD-BC04-B [16].**
- c. **Modulo Bluetooth 4.0 BT-CC41-A-V4 [17].**
- d. **Modulo Bluetooth blueSMiRF RN41SM ref. WRL-12582 [18].**

#### **2.4.1.2. Gsm**

Formalmente conocida como "Group Special Mobile" (GSM, Grupo Especial Móvil) aunque también llamada Global System for Mobile communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles), por el influjo del mundo anglosajón, es un estándar mundial para teléfonos móviles digitales creado por la CEPT y posteriormente desarrollado por el ETSI como un estándar para los teléfonos móviles europeos, con la intención de desarrollar una normativa que fuera adoptada mundialmente. El estándar es abierto, no propietario y evolutivo (aún en desarrollo) y es el estándar predominante en Europa, así como el mayoritario en el resto del mundo (alrededor del 80% de los usuarios de teléfonos móviles del mundo en 2004 usaban GSM). GSM difiere de sus antecesores principalmente en que tanto los canales de voz como las señales son digitales. Para lograr así un moderado nivel de seguridad [19].

GSM tiene cuatro versiones principales basadas en las bandas: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900. GSM-900 (900 MHz) y GSM-1800 (1,8 GHz) son utilizadas en la mayor parte del mundo, salvo en Estados Unidos, Canadá y el resto de América Latina, lugares en los que se utilizan las bandas de GSM-850 y GSM-1900 (1,9 GHz), ya que en EE.UU. las bandas de 900 y 1800 MHz están ya ocupadas para uso militar. Inicialmente, GSM utilizó la frecuencia de 900 MHz, pero tras su rápida expansión, pronto se saturó el espacio radioeléctrico entorno a esa frecuencia por lo que las redes de telecomunicación pública empezaron a utilizar las frecuencias de 1800 y 1900 MHz, con lo cual es habitual que los equipos móviles de hoy en día sean tribanda [19].

Desde un principio, los creadores de GSM intentaron lograr la compatibilidad con la RDSI en términos de servicios ofrecidos y señalización de control utilizada, sin embargo, las limitaciones del radioenlace en términos de ancho de banda y costes no permitieron que los estandarizados 64 Kbps de tasa de transmisión de un canal B sobre RDSI se alcanzaran en la práctica [19].

Utilizando las definiciones de la ITU-T, los servicios de telecomunicaciones se pueden dividir en portadores, teleservicios y servicios suplementarios, siendo sin duda el servicio más destacado el de la telefonía. No obstante, una gran variedad de servicios son ofrecidos por la red. Sus usuarios pueden enviar y recibir datos a una velocidad de hasta 9,600 bps a usuarios que utilicen la red telefónica conmutada, RDSI y redes públicas de conmutación de paquetes y circuitos utilizando una amplia gama de protocolos como X.25 y X.32, con la ventaja adicional de no necesitar módem al ser digital para dialogar con estas redes, excepto para comunicaciones vocales con la PSTN. Otros servicios de datos incluyen fax grupo 3 según se describe en la recomendación T.30 de la ITU-T [19].

#### 2.4.1.2.1. Arquitectura de la red GSM

En la figura 7 se muestra de manera resumida la arquitectura de la red GSM. Esta arquitectura es más compleja y dispone de más elementos que los presentados en esta figura. El objetivo de esta introducción es describir el servicio SMS a nivel de aplicación, sin entrar en demasiados detalles de la red subyacente [19].

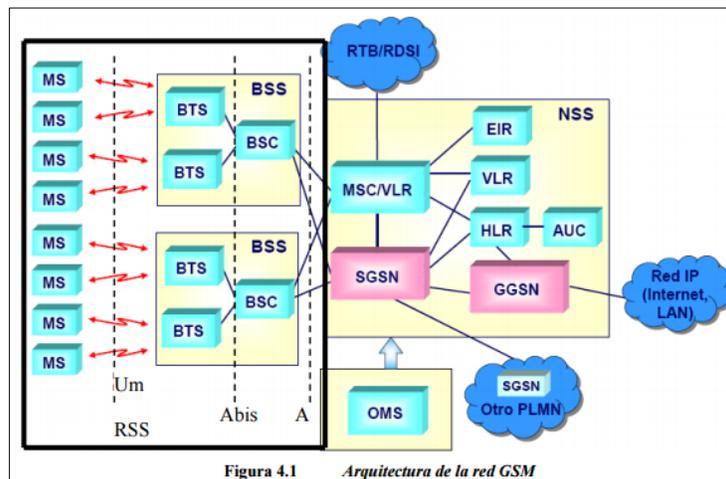


Figura 7. Arquitectura de la red GSM, Fuente: [19]

A continuación se detallarán resumidamente los principales bloques del diagrama mostrado en la figura 7 [19].

1. Subsistema Radio (RSS, Radio SubSystem). Cubre la comunicación entre las estaciones móviles (MS) y las estaciones base (BTS). El interfaz radio entre ellas se denomina Um [19].
2. El subsistema de estaciones base (BSS), incluido dentro de la parte Radio, está constituido por los siguientes elementos [19]:
  - BTS (Base Transceiver Station): emisor, receptor y antena. Procesa los canales radio (Interfaz Um) [19].
  - BSC (Base Station Controller): Handover, control de las BTS, mapeo de canales radio sobre los canales terrestres. Por un lado se comunica con las BTS a través de un interfaz con canales de 16kbps/s (Abis) y por otro lado se comunica con los MSC a través del interfaz A, con canales de 64kbps/s. Este subsistema hace de interfaz entre la parte radio y la parte de red [19].
3. Subsistema de red y conmutación (NSS, Network and Switching Subsystem). Conmutación, gestión de la movilidad, interconexión con otras redes y control Um Abis A RSS Red GSM 72 del sistema. Esta es la parte más compleja, siendo sus elementos fundamentales los siguientes [19]:
  - MSC (Mobile Services Switching Center), centro de conmutación entre otras muchas funciones.
  - GMSC (Gateway Mobile Services Switching Center). Conexión con otras redes.

- Bases de datos:
  - HLR (Home Location Register).
  - VLR (Visitor Location Register).
  - EIR (Equipment Identity Register).

#### 2.4.1.2.2. La trama GSM

Para la transmisión de “bits” entre la estación base y una estación móvil se utilizan canales físicos, caracterizados por un número de slot y una portadora. Dentro de cada portadora, capaz de transportar una multitrama se multiplexan en el tiempo 8 ranuras, formando una trama TDMA. La figura 8 ha detallado una de estas tramas de tráfico aunque las hay de otros tipos. Cabe indicar que dentro de los 26 slots de la multitrama, el 12 está reservado para señalización y el 25 no se utiliza, siendo el resto canales de datos [19].

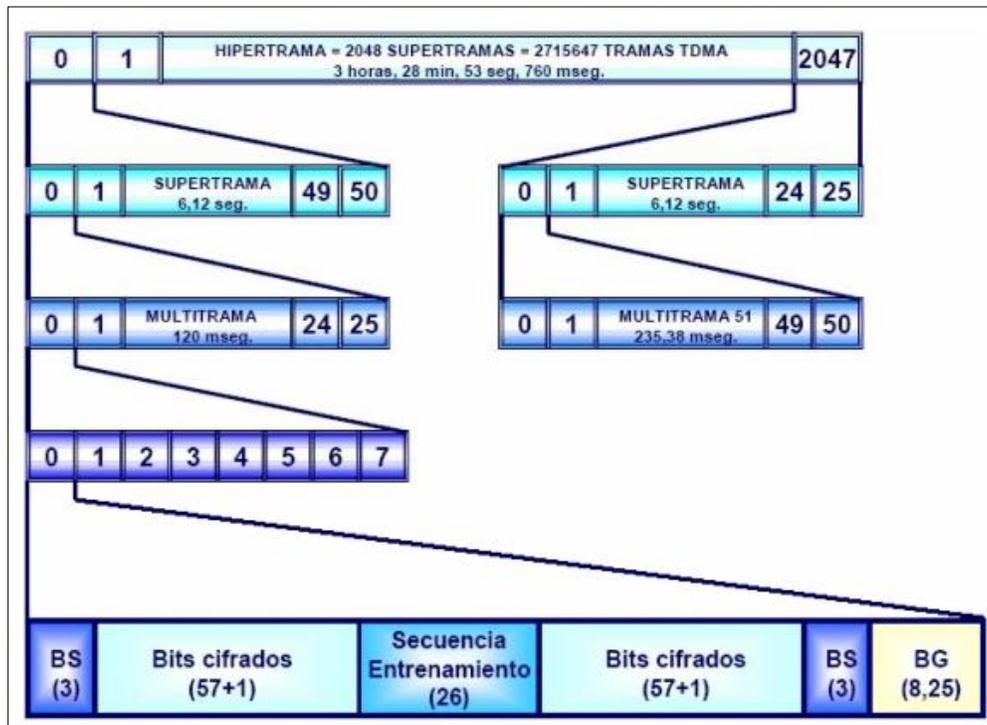


Figura 8. Diagrama de entrada GSM, Fuente: [19]

A un nivel superior, los canales físicos se dividen en [19]:

- Canales de tráfico: Llevan la voz y/o los datos
- Canales de Control: señalización y señales de control.

Los canales de tráfico pueden ser de 2.4, 4.8 ó 9.6Kb/s. Para el servicio SMS se utilizan canales de control [19].

A continuación se listan algunos módulos de comunicación inalámbrica por GSM que se encuentran fácilmente en el mercado:

- a. GPRS Shield V3.0 ref. 113030009 [20].**
- b. Adaptador USB-Módulo UG95 ref. ADP-W95 [21].**
- c. 3G click ref. MIKROE-2296 [22].**
- d. GSM3 click ref. MIKROE-1720 [23].**

#### **2.4.1.3. Wifi**

Es un sistema de comunicación sin hilos WLAN (Wireless Local Area Network) que se utiliza para redes de PC y periféricos. La inicio un consorcio de diferentes compañías en 1990. La transmisión de datos trabaja en modo bidireccional con un protocolo CSMA/CD, que evita colisiones monitorizando el nivel de señal en la red, con las siguientes características [13]:

- 802.11 2Mb/s @ 2.4GHz
- 802.11 b 11Mb/s @ 2.4GHz
- 802.11 g 55Mb/s @ 2.4GHz
- 802.11 a 55Mb/s @ 5.7GHz

La versión más conocida actualmente es la 802.11b y se conoce con el nombre comercial de WiFi (Wireless Fidelity). La asociación WECA es la encargada de

vigilar y certificar que los productos WiFi cumplen todas las normas y que, por lo tanto, son compatibles con los dispositivos comercializados hasta la fecha [13].

A continuación se listan algunos módulos de comunicación inalámbrica por WIFI que se encuentran fácilmente en el mercado:

- a. **Módulo tarjeta LinkIt Smart 7688 Duo Ref: 102110017 [24].**
- b. **Módulo WiFi ESP8266 [25].**
- c. **Módulo WiFi Serial ESP-14 Ref: ESP8266-ESP14 [26].**
- d. **Módulo WiFi 4 click Ref: MIKROE-1913 [27].**

#### **2.4.1.4. Wireless RF a 434 y 868 MHz. Bandas ISM**

Estos sistemas no utilizan ningún protocolo estándar. Los circuitos integrados dentro de este grupo se basan en un transmisor integrado en un solo circuito, exceptuando la antena, el cristal y algunos componentes externos, sin necesidad de ajustes de RF [13].

Normalmente la frecuencia de trabajo, la velocidad de transmisión y la potencia de salida son programables. Están por debajo de la potencia máxima permitida sin necesidad de licencia. Son fácilmente conectables a un microcontrolador. El receptor también es un circuito integrado o puede estar integrado en el propio emisor. El receptor dispone de un sistema para dejarlo dormido y activarse rápidamente [13].

A continuación se listan algunos módulos de comunicación inalámbrica por Wireless RF a 434 y 868 MHz. Banda ISM que se encuentran fácilmente en el mercado:

- a. **Modulo LoRa RF Click Ref: MIKROE-1997 [28].**
- b. **Módulo Wireless Transceiver-434MHz Ref: WRL-12770 [29].**

c. **Módulo EnOcean Click Ref: MIKROE-1908** [30].

d. **Módulo RF 433MHz Ref: RF-433M-TX-RX** [31].

#### **2.4.1.5. ZigBee IEEE 802.15.4**

Iniciado por Philips, Honeywell, Invensys y seguido por Motorola (ahora Freescale), Mitsubishi y hasta 25 empresas para crear un sistema estándar de comunicaciones inalámbrico y bidireccional, para usarlo dentro de dispositivos de domótica, automatización de edificios (denominado inmótica), control industrial, periféricos de PC y sensores médicos. Los miembros de esta alianza justifican el desarrollo de este estándar para cubrir el vacío que se produce por debajo del Bluetooth. Puede transmitir con un simple protocolo de 20kB/s hasta 250Kbps trabajando a una frecuencia de 2,4GHz con la tecnología GSSS, bajo consumo y rangos entre 10 y 75 metros, aunque las condiciones físicas ambientales son las que determinan las distancias de trabajo [13].

IEEE 802.15.4 es un simple protocolo de paquetes de datos para redes inalámbricas ligeras. ZigBee, se conoce con otros nombres como "HomeRF Lite", también puede usar las bandas libres ISM de 2,4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU). Una red ZigBee puede estar formada por hasta 255 nodos, los cuales tienen dormido el "transceiver" ZigBee la mayor parte del tiempo, para mantener un bajo consumo [13].

Los Xbee son pequeñísimos chip azules capaces de comunicarse de forma inalámbrica unos con otros. Pueden hacer cosas simples, como reemplazar un par de cables en una comunicación serial, lo cual es genial cuando deseas crear, por ejemplo, un vehículo radiocontrolado [32].

Los módulos Xbee son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Estos módulos utilizan el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 para crear redes FAST POINT-TO-

MULTIPOINT (punto a multipunto); o para redes PEER-TO-PEER (punto a punto). Fueron diseñados para aplicaciones que requieren de un alto tráfico de datos, baja latencia y una sincronización de comunicación predecible. Por lo que básicamente Xbee es propiedad de Digi basado en el protocolo Zigbee. En términos simples, los Xbee son módulos inalámbricos fáciles de usar [32].

#### **2.4.1.5.1. Series de Xbee**

Existen varios dispositivos Xbee que cuentan con características especiales y se han clasificado por series las cuales se describen a continuación:

##### **2.4.1.5.1.1. Xbee Series 1 (también llamados Xbee 802.15.4)**

Son la serie más fácil para trabajar, ya que no necesitan ser configurados. Para comunicaciones Punto-a-Punto, estos módulos trabajan tan bien como los de la Serie 2, pero sin todo el trabajo de pre configuración previa. Un módulo Serie 1 no dirá Serie 1 en él, pero tampoco lo dirá uno de la Serie 2. Si no lo dice, entonces tu módulo es un Serie 1. El hardware de las Series 1 y las Series 2/2.5/ZB NO SON COMPATIBLES [32].

##### **2.4.1.5.1.2. Xbee Znet 2.5 (Formalmente Series 2)**

Los módulos Serie 2 deben ser configurados antes de ser usados. Pueden funcionar en modo Transparente o por medio de comandos API, pero todo esto depende de cual firmware se configure en los módulos. También pueden funcionar en una red mesh, creando unos módulos totalmente configurables. Pero también son más difíciles que usar que los de la Serie 1. No existe una forma en que estos módulos sean compatibles con los de la Serie 1, Los módulos Znet 2.5 ya no se venden, pero han sido reemplazados con módulos ZB más compatibles [32].

#### **2.4.1.5.1.3. ZB (el actual módulo Series2)**

Básicamente es el módulo Znet 2.5, pero con un nuevo firmware. Esto significa que también funcionan en modo transparente o por medio de comandos API. También funcionan en redes mesh. Puedes tomar el nuevo firmware y actualizarlo tú mismo. El firmware entre ambos no es compatible (pero es fácilmente intercambiable) por lo que debes elegir cuál firmware deseas usar, y apegarte a éste para crear toda la red. Estos a menudo son llamados módulos de Serie 2, por lo que si escuchas a alguien hablar sobre esta serie, probablemente estén hablando de estos módulos. Puede que no sea el término correcto, pero se hace distinción de estos con los módulos de la Serie 1, los cuales son los más populares [32].

#### **2.4.1.5.1.4. 2B (el incluso más actual módulo Series2)**

Son nuevos módulos que poseen mejoras en el hardware respecto de los de la Serie 2, mejorando por ejemplo el uso de la potencia. Funcionan con el Firmware del módulo ZB, pero debido al cambio de hardware, ya no pueden funcionar con el firmware del módulo Znet 2.5 [32].

A continuación se listan algunos módulos Xbee que se encuentran fácilmente en el mercado:

- a. **Módulo Xbee 2.4Ghz Serie1 Ref: XB24-AWI-001 [33].**
- b. **Módulo Xbee 2,4Ghz Serie2 Ref: XB24-Z7PIT-004 [34].**
- c. **Módulo Xbee Pro Serie1 Ref: XBP24-ASI-001 [35].**
- d. **Módulo Xbee Pro serie 2B con antena en board PCB Ref: XBP24BZ7PIT-004 [36].**
- e. **Módulo Xbee-Pro ZB S2C-Con antena Ref: XBP24CZ7WIT-004 [37].**

## **2.5. Piscicultura**

La piscicultura colombiana está representada por el cultivo de dos especies: tilapia (*Oreochromis*) y trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), además reúne múltiples actividades económicas relacionadas que van desde la producción de alevinos hasta el levante y engorde de estos [38].

También existe en Colombia la infraestructura suficiente y necesaria para la fabricación de alimentos concentrados lo que da un valor agregado a esta cadena. Desde 2004 ha habido un incremento en la demanda para el consumo de la tilapia roja a escala nacional e internacional, principalmente en el mercado de los Estados Unidos creando una oportunidad para aprovechar en este sector desde Colombia [38].

Existen varios tipos de piscicultura en Colombia que son importantes debido a sus características.

### **2.5.1. Piscicultura extensiva**

Es el cultivo de peces a baja densidad (1 pez por cada 5-10 m<sup>2</sup>), generalmente en una gran extensión de espejo de agua con poco o ningún recambio de agua, con alimentación natural y una mínima inversión de capital [39].

### **2.5.2. Piscicultura semi-intensiva**

Este tipo de cultivo es realizado con 2 a 4 peces por m<sup>2</sup>, utilizando preferiblemente estanques de 200 a 2500 m<sup>2</sup> o mayores, aun cuando los pequeños productores a menudo construyen estanques más chicos; se aplica abono para producir alimento natural, se suministra concentrado y productos agrícolas suplementarios como frutas, semillas, hojas de boro y otros. Requiere

bajo recambio de agua (5-15% día) y manejo de la tasa de alimentación de acuerdo con la edad de los peces [39].

### **2.5.3. Piscicultura intensiva**

Es el cultivo de peces mediante un manejo tecnificado con altas densidades (5 a 20 peces por m<sup>2</sup>); el diseño y la construcción de las instalaciones deben estar acordes con la tasa de recambio de agua requerida (mínimo un 30% diariamente), utilizando algún sistema de aireación u oxigenación, especialmente en las etapas finales de engorde. La alimentación es únicamente alimento con concentrado suministrado manual o mecánicamente; es necesario monitorear constantemente la calidad del agua en los estanques y el estado de sanidad de los animales [39].

### **2.5.4. Piscicultura súper-intensiva**

Este sistema es utilizado principalmente en jaulas flotantes en lagos o embalses, pues necesita un alto nivel de recambio de agua (500% por un minuto), con uso excesivo de alimento concentrado; se manejan densidades del orden de 60 peces/m<sup>3</sup> en cultivos de trucha y 120-160 peces/m<sup>3</sup> en cultivos de tilapia [39].

### **2.5.5. Calidad y cantidad de agua**

El agua utilizada en la piscicultura puede tener diferentes orígenes, entre los cuales encontramos los de nacederos, quebradas, ríos, lagunas, embalses, aguas lluvias o aguas subterráneas; las provenientes de acueductos municipales son las menos recomendadas debido a que en la mayoría de los casos son tratadas con cloro, el cual es perjudicial para los peces, y además son costosas [39].

Para mantener adecuados los niveles de oxígeno se debe tener en cuenta [39]:

- Mantener bajos los sólidos en suspensión (decantación, filtros)
- Aumentar la tasa de recambio de agua
- Colocar aireación mecánica (caídas de agua, chorros, aireadores)
- Controlar el suministro de alimento
- Manejar adecuadas densidades de siembra

En la cría de peces, lo más práctico y económico es que el agua llegue por gravedad a las instalaciones (estanques de cultivo, piletas, incubadoras, entre otras.), pues el bombeo incrementaría notoriamente los costos de producción. Igualmente, es conveniente que el agua esté disponible todo el tiempo como mínimo en un caudal suficiente para proporcionar una cantidad que asegure la reposición de las pérdidas ocurridas por filtración y evaporación y para establecer un programa de recambio que mantenga en óptimas condiciones los parámetros fisicoquímicos; es indispensable conocer la cantidad de agua disponible (litros por segundo o minuto) tanto en invierno como en verano, para poder proyectar con precisión el tamaño de la piscicultura por montar y determinar la posibilidad de trabajar en forma intensiva, semi-intensiva o extensiva [39].

Cuando se cuenta con una corriente (caño, quebrada, entre otras.), el caudal de agua es calculado de la siguiente manera [39]:

- Se determina el área promedio del cauce, lo cual se obtiene de multiplicar el ancho promedio por la profundidad promedio, cifra que se expresa en  $m^2$ .
- Se calcula la velocidad de la corriente poniendo algún material flotante (corcho, pedazo de madera, hojas, etc.) sobre la superficie y se mide la distancia recorrida en un tiempo determinado (metros recorridos por segundo).
- Se multiplica el área por la distancia recorrida para determinar el volumen (en  $m^3$ ) de agua que pasa en un determinado tiempo y se divide por segundos para calcular el caudal en  $m^3/s$ .

### **2.5.6. Asociación de piscicultores de Sotara Cauca**

La Asociación de Piscicultores de Sotará es una organización que congrega a indígenas y campesinos del municipio de Sotará dedicados a la producción de carne de trucha arco iris en 5 estaciones piscícolas que pertenecen a sus socios, las cuales son [40]:

1. Estación Piscícola San Roque.
2. Estación Piscícola La Chorrera 1.
3. Estación Piscícola Santa Marta.
4. Estación Piscícola La Chorrera 2.
5. Estación Piscícola El Guineal.

La problemática que vive la región en donde se encuentran localizadas las microempresas rurales, se convirtió en la principal motivación de trabajo para la Asociación, puesto que se inició en la búsqueda de una alternativa empresarial que contribuyera al desarrollo económico de la zona y que al mismo tiempo permitiera el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes, tomando como el renglón productivo para este fin la producción de carne de trucha. Luego a través de la asociatividad se dio inicio a la cadena de producción para lograr ser competitivos en el mercado y lograr el desarrollo local [40].

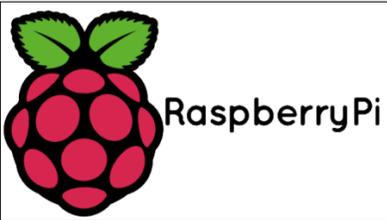
Actualmente a la Asociación de Piscicultores de Sotará pertenecen 13 familias y de los socios el 70% son indígenas y el 30 % son campesinos. La organización es una entidad legalmente constituida, que cuenta con sus registros ante la cámara de comercio del Cauca y con una estructura administrativa, donde la Asamblea general delega en un socio su representación legal. En una trayectoria de un año de trabajo y gracias a las gestiones de sus socios la organización ha logrado hacer parte de la Cadena Piscícola del Cauca a través de la cual ha participado en capacitaciones, ruedas de negocios, relaciones interinstitucionales y entre asociaciones que han contribuido para fortalecernos como gremio [40].

## 2.6. Dispositivos lógicos programables

Un PLD (Programmable Logic Device, Dispositivo lógico programable) es un componente electrónico empleado para la fabricación de circuitos digitales. A diferencia de las puertas lógicas un PLD tiene una función indefinida. Antes de que un PLD pueda ser usado en un circuito este puede ser programado [41].

Hoy en día existen variedad de dispositivos lógicos programables con características que hacen especial a cada uno de ellos, por eso antes de elegir un dispositivo se debe tener en cuenta las necesidades del proyecto, la tabla 6 muestra las empresas dedicadas a crear dispositivos lógicos programables.

Tabla 6. Empresas dedicadas a crear Dispositivos Programables Fuente: Propia

DESCRIPCIÓN	LOGO
ARDUINO [42]	 Figura 9. Arduino, Fuente [43]
RASPBERRY PI [44]	 Figura 10. Raspberry Pi, Fuente: [45]
BEAGLEBONE [46]	 Figura 11. BeagleBone, Fuente: [47]

MICROCHIP [48]	 <p data-bbox="824 432 1206 457">Figura 12. Microchip, Fuente: [49]</p>
ORANGE PI [50]	 <p data-bbox="824 747 1206 772">Figura 13. Orange Pi, Fuente: [51]</p>

Como se dijo anteriormente para realizar un proyecto es importante tener en cuenta las necesidades requeridas, para el proyecto **monitoreo de nivel de agua en estanques mediante red Modbus para cultivo de trucha arcoíris en la asociación de piscicultores de Sotará** se optó por utilizar microcontroladores de Microchip, ya que estos cumplen con los requerimientos pedidos por la asociación de piscicultores de Sotara que son principalmente un dispositivo de bajo costo y de buena calidad y son capaces de adaptarse a cambios futuros en el proyecto.

### 3. CAPITULO III: DISEÑO

Para el monitoreo del nivel de agua en dos estanques de la estación piscícola SAN ROQUE se ha diseñado un sistema que trabaje con el protocolo de comunicación Modbus; además, la interacción entre el dispositivo Maestro y los Esclavos será de forma inalámbrica. Ver figura 14.

El Maestro debe contar con una alarma, encargada de alertar cambios críticos en el nivel del agua de los estanques. Así mismo, para el supervisor de los estanques es ideal que el monitoreo este caracterizado en tres estados: **Bajo, Medio y Alto**; donde Alto y Bajo serán estados de riesgo para la mortalidad de los peces, y medio será el estado normal. Por otra parte, los dispositivos Esclavos son los encargados de la lectura del nivel de agua en los estanques, estos envían los datos obtenidos por medio de una comunicación inalámbrica al maestro, el cual está ubicado aproximadamente a 100 metros.

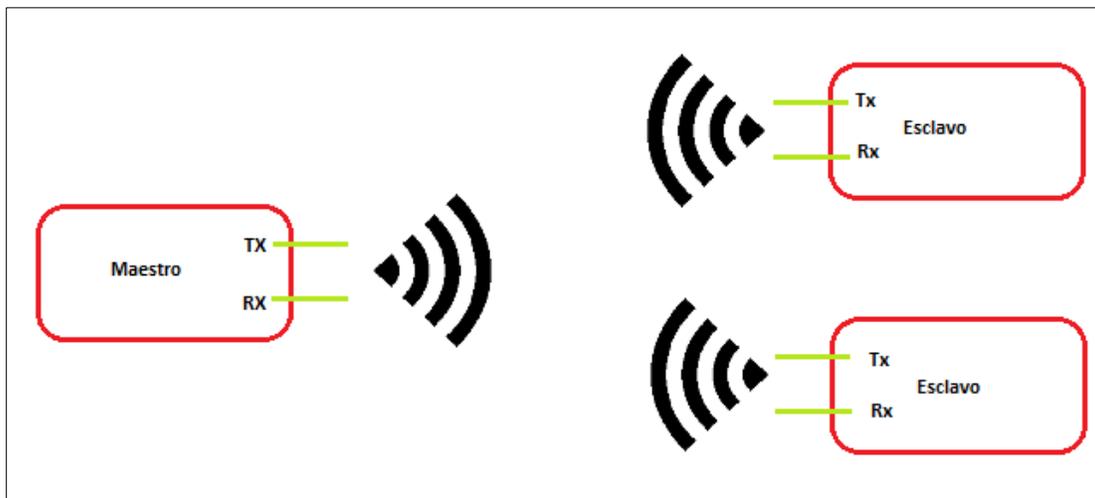


Figura 14. Interacción Dips. Maestro/Esclavos, Fuente: Propia

Para ejecutar este proyecto también se tuvieron en cuenta los siguientes requerimientos:

- Sistema de bajo costo.
- Sistema inalámbrico remoto con gran alcance.
- Sistema que tenga consumo de energía reducido.

Se realizó un estudio previo en el cual se determinaron las tecnologías y los elementos que se utilizarían; a continuación se exhiben dos subsistemas que en su continua interacción permiten cumplir los requerimientos expuestos anteriormente. Los subsistemas son: subsistema electrónico y subsistema mecánico. Ver figura 15.

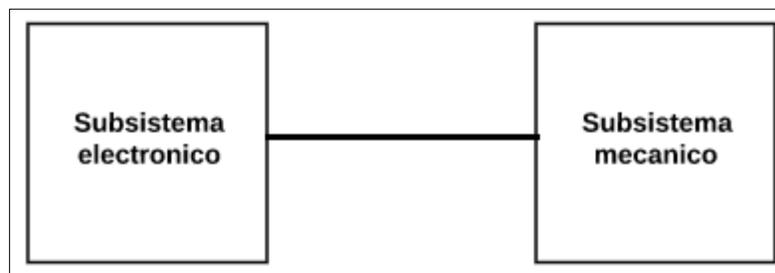


Figura 15. Diagrama de bloques capítulo de Diseño, Fuente: Propia

### 3.1. Subsistema electrónico

Describe las tecnologías utilizadas para desarrollar el subsistema electrónico. Este se distribuye en bloques individuales que cumplen una función específica para la realización del proyecto, los cuales se referencian como: bloque de comunicación, bloque lógico, bloque alarma, bloque conversor de protocolo y bloque HMI. Ver figura 16.

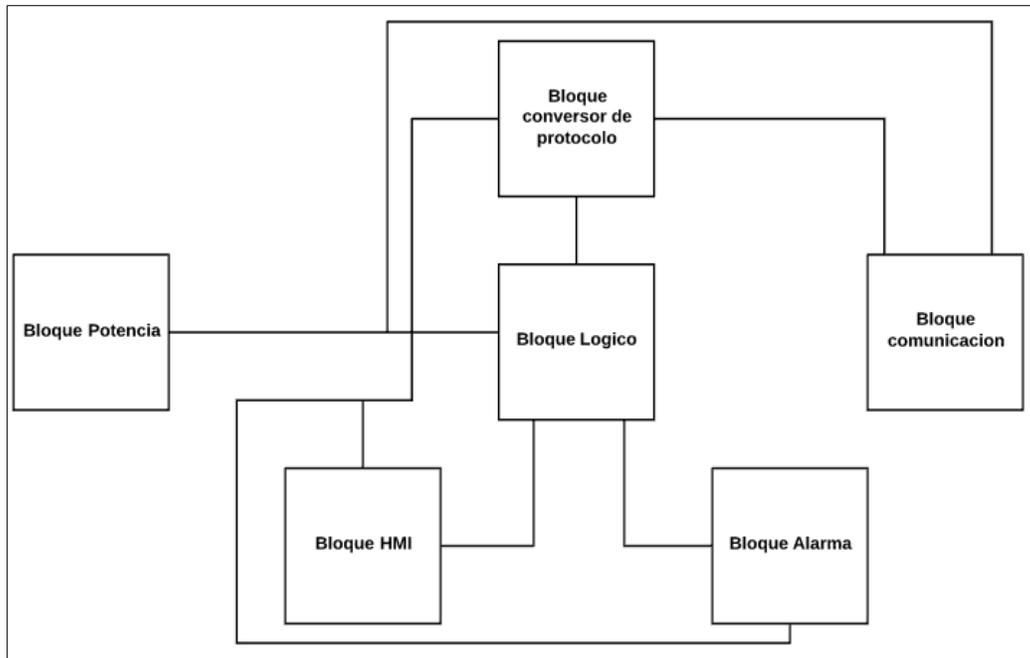


Figura 16. Subsistema electrónico, Fuente: Propia

Los bloques que conforman este sistema se conectan para cumplir con los objetivos planteados y a su vez se componen de ciertos componentes electrónicos que son expuestos a continuación.

### 3.1.1. Bloque comunicación

Se realizó con el fin de comunicar al dispositivo Maestro con los dispositivos Esclavos instalados en los estanques de la estación piscícola SAN ROQUE en Paispamba municipio de Sotara Cauca. Teniendo en cuenta que los estanques monitoreados se encuentran distantes al domicilio del encargado, fue necesario hacerlo de forma inalámbrica para prevenir daños que puedan ocurrir en la red de comunicación, ya que los dispositivos esclavos están expuestos al aire libre.

### 3.1.1.1. Módulo comunicación inalámbrica

Entre las características funcionales del prototipo, se tiene que este debe estar implementado con una red de comunicación inalámbrica con protocolo de comunicación Modbus, el cual está basado en el modelo maestro/esclavo. La figura 17, ilustra las entradas/salidas de este módulo; como señal de entrada se tiene la señal “alimentación 5V”, que es el voltaje necesario para energizar los elementos y señales bidireccionales presentes que permiten la comunicación entre los dispositivos maestro y esclavos, “señal RS-485”, señal conectada del bloque conversor de protocolo, “señal inalámbrica” y señal producida por el dispositivo de comunicación inalámbrica.

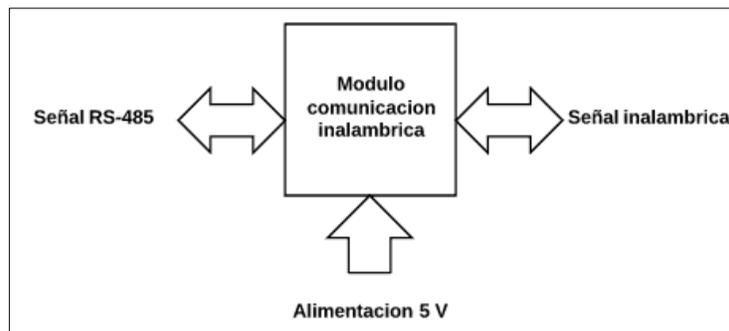


Figura 17. Módulo comunicación Inalámbrica, Fuente: Propia

Tomando en cuenta las particulares de este módulo, se realizó un estudio previo sobre los dispositivos de comunicación inalámbrica y se decidió utilizar los módulos Xbee, ya que contaban con las características y los requerimientos pedidos por la ASOCIACIÓN DE PISCICULTORES DE SOTARA CAUCA que fueron: gran alcance, bajo costo y consumo de energía reducido.

### 3.1.2. Bloque alarma

Es de gran importancia, ya que la persona encargada de cuidar los estanques contenedores de peces en la estación piscícola SAN ROQUE se percata de que ocurre un evento adverso. La figura 18, ilustra las entradas/salidas del bloque; como señal de entrada se tiene una señal “pin de activación” que proveniente del bloque lógico para activar la alarma, y una señal denominada “alimentación 12 V DC”, que es la fuente de alimentación para energizar; como salida se tiene “señal sonora”, es un sonido de alerta.

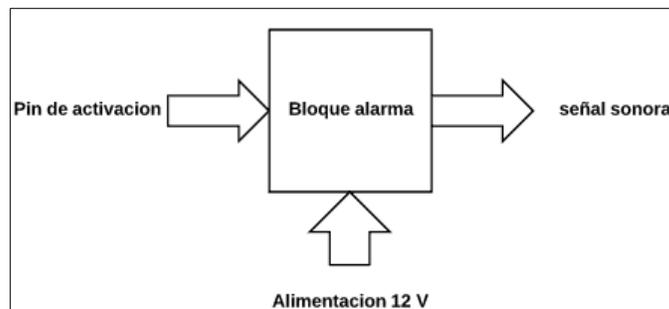


Figura 18. Bloque Alarma, Fuente: Propia

Para la activación de la alarma se diseñó un circuito de activación con un transistor de referencia tip 31 que recibe un HIGH o LOW del módulo lógico, ver figura 19.

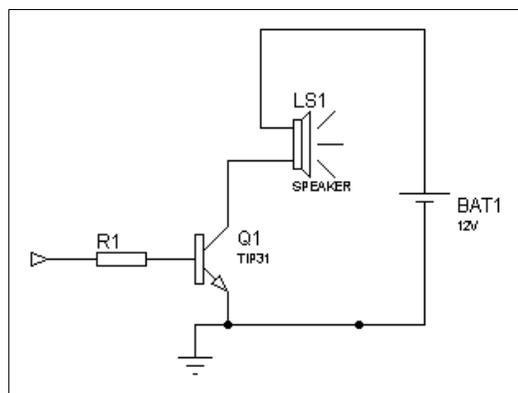


Figura 19. Circuito de activación de sirena, Fuente: Propia

Para la elección del transistor se tomaron en cuenta los datos técnicos ofrecidos por el TIP 31 que se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Características TIP 31, Fuente: [52]

$I_{cmax}$	3 A
$V_{CEO}$	40 V

Para asegurar que el circuito de activación funcionara de forma correcta y no se quemara, se calculó la resistencia R1, midiendo la corriente que circulaba por la sirena que fue de 230 mA. Para lo anterior, se usaron fórmulas y tomando el beta de la hoja técnica del TIP 31 se obtuvo que:

$$I_c = 230 \text{ mA}$$

$$\beta = 10$$

Por formula:

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

Despejando  $I_b$  :

$$I_b = \frac{I_c}{\beta}$$

Reemplazando valores:

$$I_b = \frac{0.23 \text{ A}}{10} = 0.023 \text{ A}$$

Por ley de ohm se tiene que:

$$V = I * R$$

Despejando R:

$$R = \frac{V}{I}$$

Tenemos que:

$$R = \frac{5\text{ V} - 0.7\text{ V}}{0.023\text{ A}} = \frac{4.3\text{ V}}{0.023\text{ A}} = 186.9\ \Omega$$

Dónde:

$I_c$ : Corriente en el colector del tip 31

$\beta$ : Beta tip 31

$I_b$ : Corriente en la base del tip 31

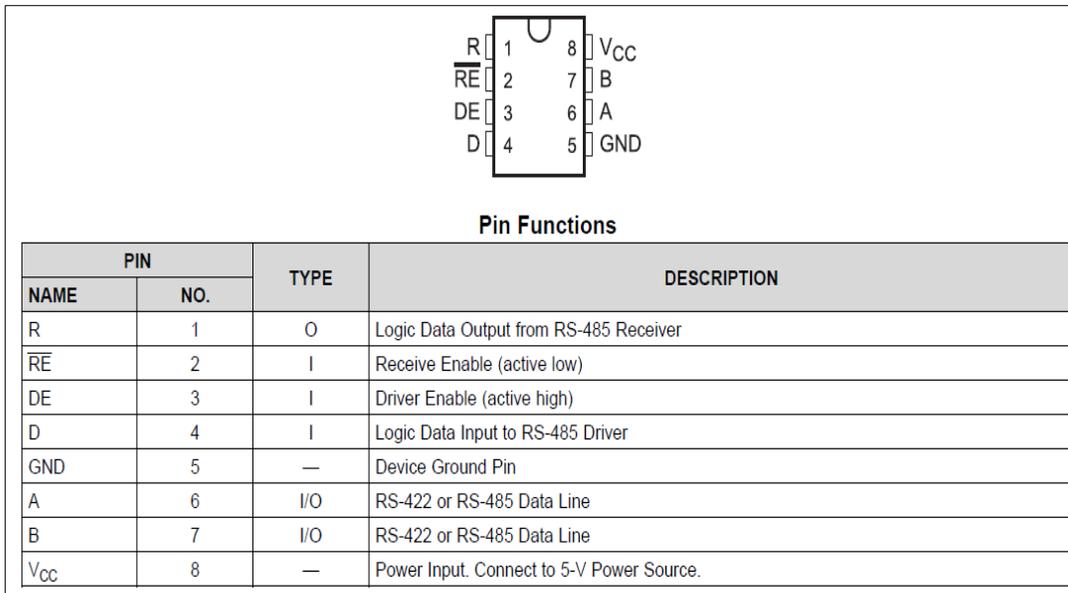
V: Voltaje de alimentación

R: Resistencia conectada a la base del tip 31

Como resultado dio el valor de 186.8 ohmios para la resistencia R, el circuito fue implementado con una resistencia de 220 ohmios ya que era el valor comercial más aproximado.

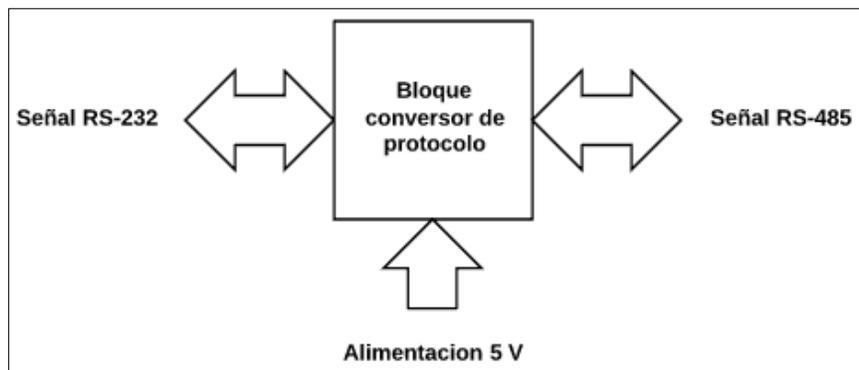
### 3.1.3. Bloque conversor de protocolo

El proyecto tuvo como fin monitorear el nivel de agua en los estanques de la estación piscícola SAN ROQUE mediante una red de comunicación con el protocolo serial Modbus basada en el modelo maestro/esclavo. Para lograr una comunicación eficiente se realizó una interfaz RS-485 diseñada e implementada con un transceptor de referencia SN75176BP de Texas Instruments, ver figura 20. Cabe aclarar que “estos dispositivos se encargan de hacer la conversión entre los niveles TTL del Microcontrolador y las señales del tipo diferencial que se utilizan en el bus RS-485” [11].



**Figura 20. SN75176bp, Fuente: [53]**

El Bloque Conversor de protocolo cuenta con entradas y salidas de comunicación serial, La figura 21, ilustra las conexiones de este bloque, como señal de entrada se tiene la señal “alimentación 5V”, que es el voltaje necesario para energizar los elementos existentes, señales bidireccionales presentes que permiten la comunicación entre los dispositivos maestro y esclavos, “señal RS-232”, señal conectada del bloque lógico, “señal RS-485”, señal de red industrial acondicionada por el transceptor SN76176BP que conectada al bloque comunicación.



**Figura 21. Bloque conversor de protocolo, Fuente: Propia**

Para evitar conflictos o choques de información en el bus de datos se optó por utilizar dos transceptores SN75176 en cada dispositivo esclavo y en el dispositivo maestro, donde uno se habilita únicamente para la transmisión de datos y el otro se habilita solo para la recepción de datos, ver figura 22.

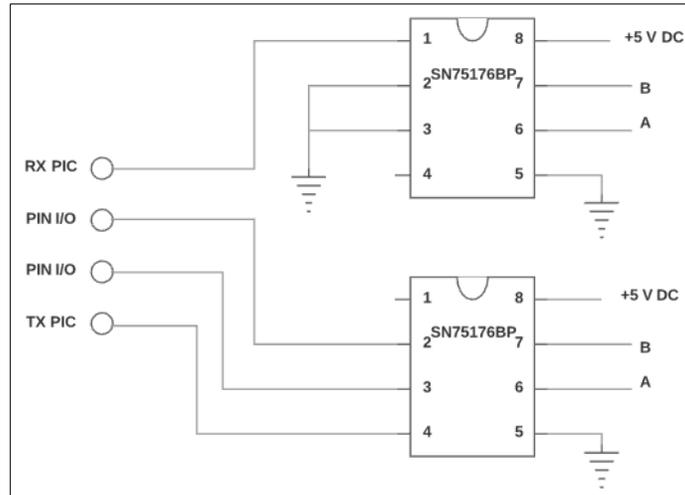


Figura 22. Conexión de SN75176bp al Pic 18f4550, Fuente: Propia

### 3.1.4. Bloque HMI

Para monitorear el estado en el que se encontraba el nivel del agua en los estanques contenedores de peces se implementó un sistema SCADA que utiliza una pantalla LCD de 16x2. Las medidas adquiridas por los dispositivos finales son enviadas de forma inalámbrica al maestro, este se encarga de recibir la información y mostrarla en la pantalla LCD. La figura 23, ilustra las entradas/salidas de este bloque, como señal de entrada se tiene una señal “Bus de datos”, esta contiene una combinación binaria proveniente del bloque lógico, y una señal denominada “alimentación 5V”, que es la fuente de alimentación para energizar este bloque; como salida se tiene señal “Caracteres alfanuméricos en pantalla LCD”, que son los estados y la configuración de la monitorización de los estanques.

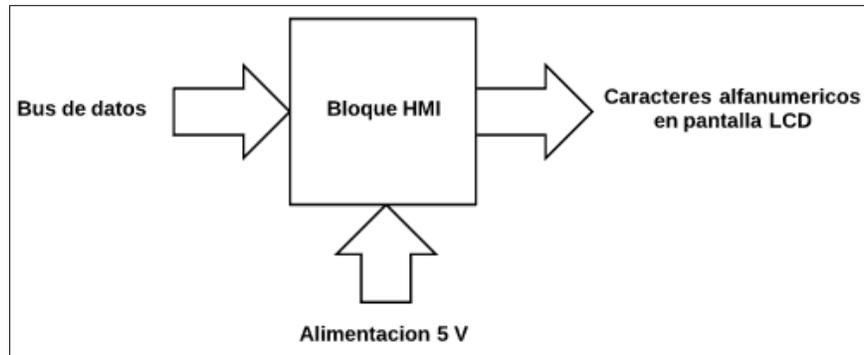


Figura 23. Bloque HMI, Fuente: Propia

La pantalla LCD de 16x2 se observa en la figura 24, esta cuenta con las siguientes características [54]:

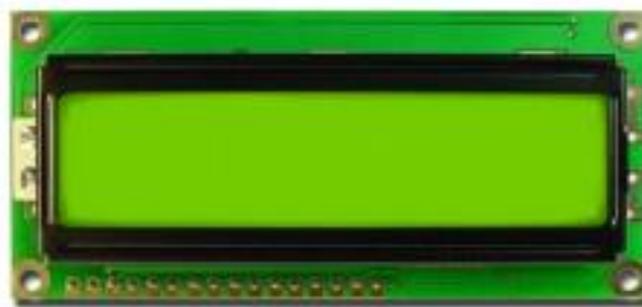


Figura 24. Pantalla de cristal líquido LCD, Fuente: [54]

- Consumo muy reducido, del orden de 7.5mW
- Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres japoneses Kanji, caracteres griegos y símbolos matemáticos.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o a la derecha
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla, visualizándose 16 caracteres por línea
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto
- Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres
- Pueden ser gobernados de 2 formas principales:
  - Conexión con bus de 4 bits
  - Conexión con bus de 8 bits

### 3.1.5. Bloque lógico

Se puede decir que el Bloque lógico es el cerebro del subsistema electrónico, pues aquí es donde se conectan todas las señales de los demás bloques que hacen parte del sistema. La figura 25, ilustra las entradas/salidas del bloque. Como señal de entrada se tiene una señal “Bloque Potencia”, es el voltaje suministrado por el bloque de potencia para el bloque lógico con una tensión de 5 VDC, y una señal denominada “Datos análogos, digitales”, son datos necesarios para la configuración de los dispositivos presentes este bloque, como señal de salida se tiene una señal “Bloque HMI”, es el bus de datos dirigido al bloque HMI, y una señal denominada “Bloque Alarma”, es la señal de activación para el bloque alarma, señale bidireccional presentes que permite la comunicación entre los dispositivos maestro y esclavos, “Bloque conversor de protocolo”, señal RS-232 que se conecta con el bloque conversor de protocolo.

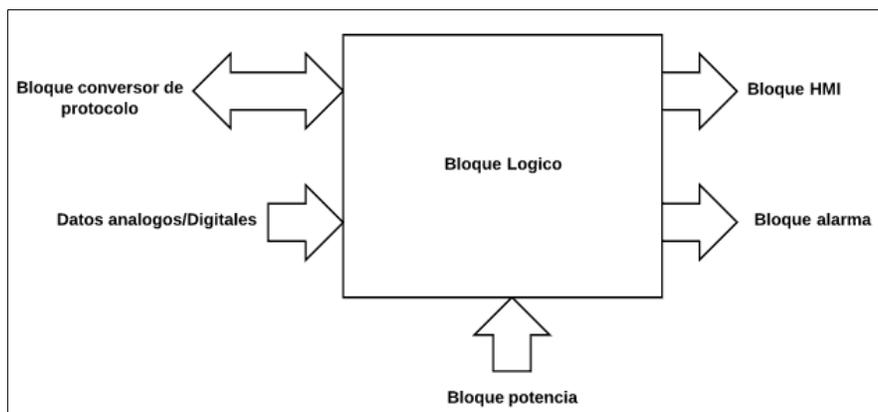


Figura 25. Bloque Lógico, Fuente Propia

Anteriormente se estudiaron algunos dispositivos lógicos programables y se determinó utilizar un microcontrolador de la casa de Microchip.

### **3.1.5.1. Firmware**

Para el funcionamiento adecuado es necesario desarrollar un programa software embebido en el microcontrolador que relacione las señales presentes en los periféricos, con las instrucciones definidas en el sistema de monitoreo. Los parámetros a tener en cuenta en la programación son: protocolos de comunicación, alarma, sensor e interacción máquina-usuario.

- Protocolo de comunicación: hace referencia a los diferentes módulos que necesitan interactuar para generar acciones de manipulación de información.
- Alarma: señales sonoras que indican un evento adverso al funcionamiento correcto del sistema.
- Sensor: modulo que permite medir una señal física.
- Interacción máquina-usuario: entorno de visualización del estado en el que se encuentra el nivel de agua de los estanques.

### **3.1.6. Bloque potencia**

Está conformado por dos partes: módulo de potencia maestro y módulo de potencia Esclavo. Se ha realizado un estudio de los elementos a utilizar y la potencia consumida para determinar las características de la fuente de alimentación necesaria. En la figura 26 se observa los módulos por los cuales está compuesto el Bloque de Potencia y más adelante serán explicados individualmente.

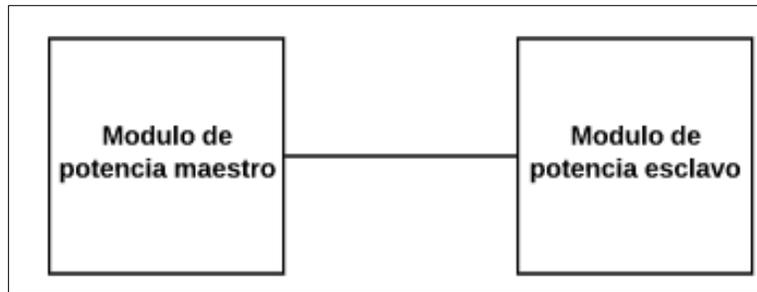


Figura 26. Bloque de Potencia, Fuente: Propia

### 3.1.6.1. Módulo de potencia maestro

Para la elección de la fuente del dispositivo maestro es necesario conocer la corriente consumida por los elementos del dispositivo, para esto se utilizó la hoja técnica de elementos.

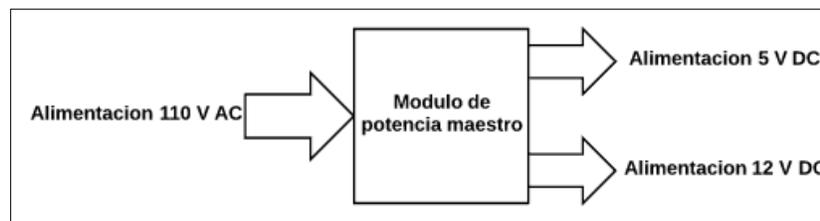
Tabla 8. Consumo Modulo de potencia Maestro, Fuente: Propia

ELEMENTO	VALOR
<b>Microcontrolador</b>	El valor varía de acuerdo al área de trabajo
<b>Xbee</b>	$\cong 71 \text{ mA}$
<b>Sirena</b>	$\cong 230 \text{ mA}$
<b>Leds</b>	$\cong 20 \text{ mA}$
<b>Display LCD</b>	$\cong 2.27 \text{ mA}$
<b>SN75176BP</b>	Outputs enable= $47 \text{ mA}$ Outputs disable= $26 \text{ mA}$
<b>Elementos pasivos</b>	-----

Para obtener un valor más real se midió la corriente consumida por todo el circuito con el multímetro y el resultado con todos sus componentes activos fue de  $380 \text{ mA}$ .

Teniendo en cuenta la corriente consumida por el dispositivo maestro se decidió utilizar un cargador genérico con salida de  $12 \text{ Voltios DC}$  con  $1000 \text{ mA}$ , ya que en

el dispositivo maestro se encuentra presente el bloque alarma que debe ir conectado a una fuente de 12 Voltios DC, pero adicional a esto se debe implementar un circuito regulador de tensión para obtener una salida de 5 Voltios DC que será la alimentación para los bloques restantes del subsistema electrónico. Para realizarlo se utilizó un LM7805 y se implementó el circuito de aplicación informal con salida fija que se encuentra en la hoja técnica del LM7805. La figura 27, ilustra las entradas/salidas de este Módulo, como señal de entrada se tiene la señal “Alimentación 110 V AC”, que es el voltaje tomado de la energía domiciliaria, además, como salida se tiene una señal “Alimentación 5 V DC”, que es la tensión con la que se energizan los elementos presentes, los bloques del subsistema electrónico excepto el bloque alarma y la señal “alimentación 12 V DC” que es la tensión con la que se energiza el bloque alarma.



**Figura 27. Modulo Potencia Maestro, Fuente Propia**

Para tener seguridad de que el circuito de aplicación informal del regulador de tensión LM7805 funcionara de la manera adecuada se implementó en un simulador, luego se implementó en protoboard y el resultado fue el esperado. En la figura 28 se observa el circuito de aplicación informal del regulador de tensión LM7805.

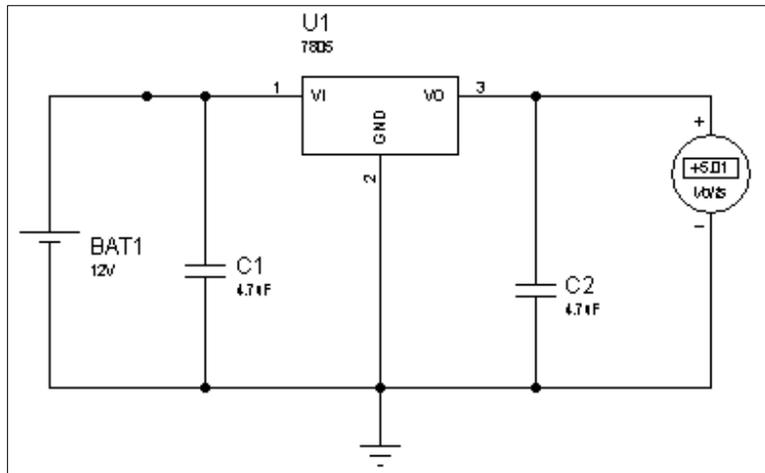


Figura 28. Circuito adaptador de tensión para Maestro. Final 1, Fuente: Propia

Lo anteriormente dicho se plasma en el siguiente diagrama de bloques:



Figura 29. Lazo de control abierto adaptador de tensión disp. Maestro, Fuente: Propia

Entrada, voltaje de 12 VDC que entrega cargador genérico.

Proceso, Circuito adaptador de tensión de 12 VDC a 5VDC.

Salida, voltaje de 5VDC para alimentar dispositivo coordinador.

### 3.1.6.2. Módulo de potencia de dispositivo esclavo

Para elegir una fuente para los dispositivos Esclavo fue necesario conocer la corriente consumida por los elementos del dispositivo, para esto se usó la hoja técnica de elementos.

Tabla 9. Consumo de potencia Dispositivo Esclavo, Fuente: Propia

ELEMENTO	VALOR
<b>Microcontrolador</b>	El valor varía de acuerdo al área de trabajo
<b>Xbee</b>	$\cong 71 \text{ mA}$
<b>Led</b>	$\cong 20 \text{ mA}$
<b>SN75176BP</b>	Outputs enable= 47mA Outputs disable= 26 mA
<b>Elementos pasivos</b>	-----

Para obtener un valor más real se midió la corriente consumida por todo el circuito con el multímetro y el resultado con todos sus componentes activos fue de 120mA.

Teniendo en cuenta que el proyecto está destinado para una zona rural donde los estanques no cuentan con una fuente de energía cercana, fue necesario emplear una batería seca con salida de 6 Voltios DC - 5 A. Cabe resaltar que cada dispositivo esclavo cuenta con batería independiente, la figura 30, ilustra las entradas/salidas de este Módulo, como señal de entrada se tiene la señal “Batería 6 V DC”, es el voltaje entregado por la batería seca, como salida se tiene la señal “Alimentación 5 V DC”, es la tensión con la que se energizan los elementos presentes los bloques del subsistema electrónico excepto el bloque alarma.

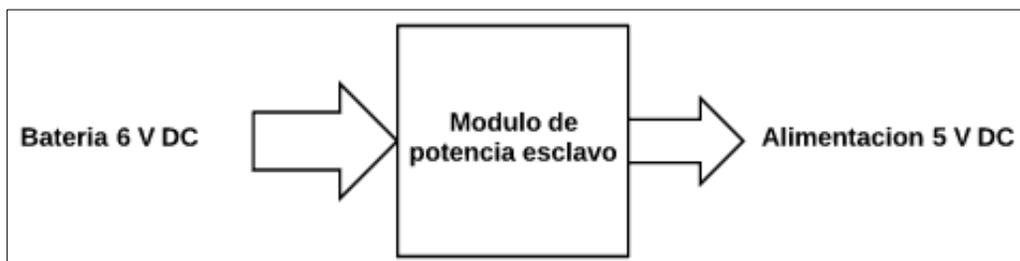


Figura 30. Diagrama de entradas/salidas bloque, Fuente: Propia

Para tener seguridad de que el circuito de aplicación informal del regulador de tensión LM7805 funcionara de la manera adecuada se realizó una simulación del circuito y se tomaron valores de voltaje. Luego de simularlo se implementó en protoboard y el resultado fue el esperado. En la figura 31 se observa el circuito de aplicación informal del regulador de tensión LM7805.

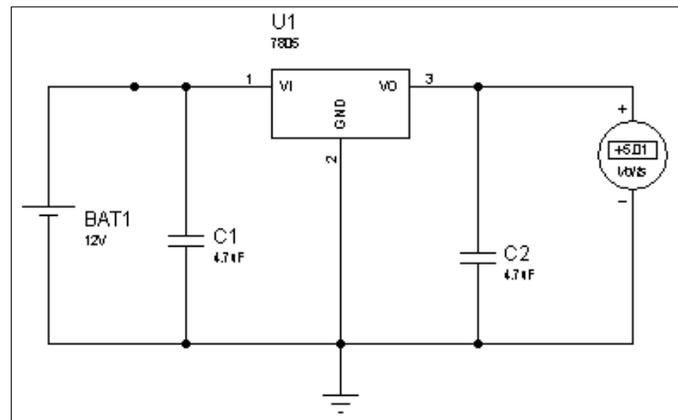


Figura 31. Circuito adaptador de tensión disp. Disp. Esclavo, Fuente: Propia

### 3.2. Subsistema mecánico

Describe los instrumentos utilizados para desarrollar el subsistema mecánico. Este está compuesto por el bloque sensor, que es donde se selecciona el sensor de nivel y su configuración, además se muestran los diseños en 3D de los gabinetes de contención de cada dispositivo.

#### 3.2.1. Bloque sensor

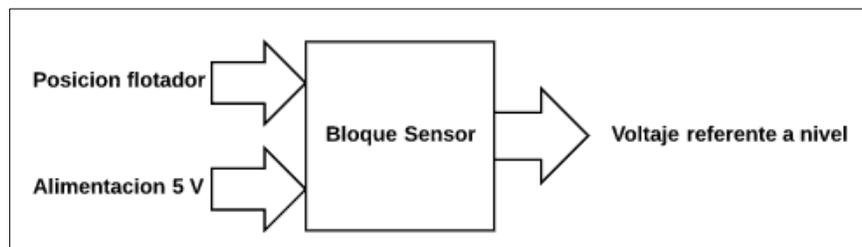


Figura 32. Bloque sensor, Fuente: Propia

En la mayoría de los procesos donde se desea monitorear una señal se utilizan sensores, y este proyecto no fue la excepción, ya que se monitoreó el nivel de agua de dos estanques contenedores de peces. En el capítulo 2 de este documento titulado marco teórico se estudiaron diferentes formas de medir el nivel de líquidos y se optó por utilizar un sensor de flotador. La figura 32 ilustra las entradas/salidas de este bloque, como señal de entrada se tiene una señal “Posición de flotador”, que es la señal entregada por el sensor utilizado, y una señal denominada “alimentación 5 V”, que es la fuente de alimentación para energizar este bloque; finalmente como salida se tiene señal “Voltaje referente a nivel”, que es el voltaje que hace referencia al nivel de agua en los estanques y es entregado al Bloque lógico.

Para relacionar la posición del flotador con el nivel de agua en el estanque fue necesario diseñar un circuito divisor de tensión, dado que el sensor entrega un valor de resistencia que varía respecto a la posición del flotador, ver figura 33.

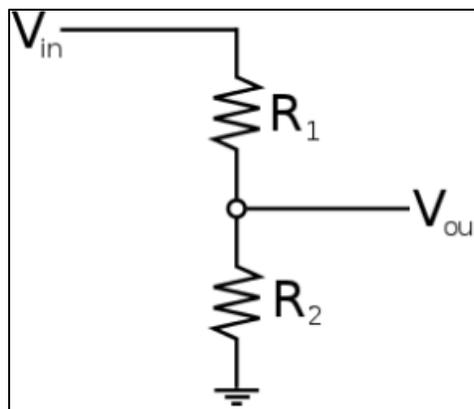


Figura 33. Divisor de tensión, Fuente: [55]

Para conocer el  $V_{out\ max}$  y  $V_{out\ min}$  que puede brindar el sensor se hace uso de la fórmula de divisor resistivo.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in}$$

Se conoce el valor minimo y el valor maximo de la resistencia del sensor que son:

$R_2$  Valor minimo= 18 ohmios.

$R_2$  Valor maximo= 124 ohmios

$R_1 = 51 \text{ ohmios}$

Entonces:

$$V_{outMin} = \frac{18 \Omega}{51\Omega + 18\Omega} * 5V$$

$$V_{outMin} = 1.3 V$$

$$V_{outMax} = \frac{124 \Omega}{51\Omega + 124\Omega} * 5V$$

$$V_{outMax} = 3.6 V$$

Respecto a los calculos se encontro que el rango voltaje entregado por el divisor de tension fue entre 1.3Voltios DC y 3.6 Voltios DC. Lo anteriormente dicho se plasma en el siguiente diagrama de bloques donde inicialmente el sensor entrego un valor en ohmios y se realizo el proceso para obtener una salida en voltios.



Figura 34. Lazo de control abierto divisor de tensión, Fuente: Propia

Entrada, Ohmios entregados por el medidor de combustible.

Proceso, Circuito divisor de tensión.

Salida, Voltios que hacen referencia al estado en el que se encuentra el flotador.

### 3.2.2. Gabinete de contención

En esta sección del documento se muestran los diseños del montaje de los dispositivos maestro y esclavos.

#### 3.2.2.1. Diseño dispositivo maestro

En el diseño del dispositivo maestro se pueden apreciar algunos orificios en los que se instalará el bloque HMI, el cual consta de una pantalla LCD, cuatro botones pulsadores, dos leds y un switch principal ON-OFF. Además, en la parte lateral izquierda se observa un orificio por donde pasaran los cables de la alarma y del cargador genérico. Este dispositivo y sus dimensiones se pueden apreciar en la figura 35.

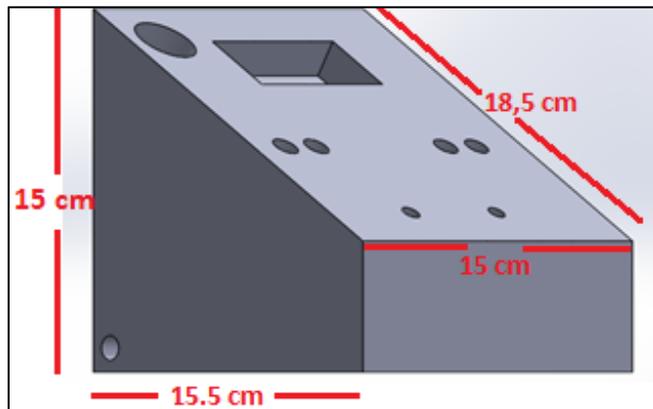


Figura 35. Diseño 3D dispositivo maestro, Fuente: Propia

#### 3.2.2.2. Diseño dispositivo esclavo 1

El dispositivo esclavo 1 se diseñó con una base plana debido a que el estanque tiene una la superficie plana a su alrededor, ver figura 36.

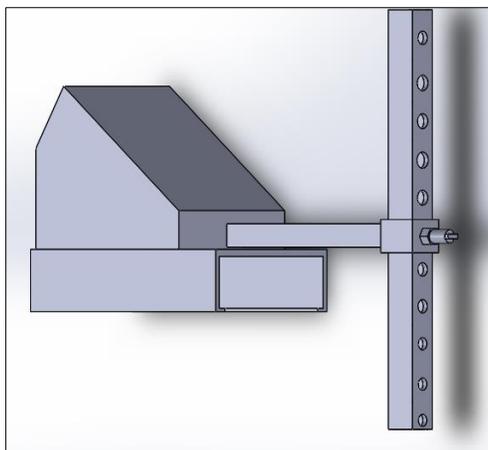


Figura 36. Diseño 3D dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia

Este dispositivo cuenta con un sensor de nivel que se instala en la barra graduable; a su vez esta barra se ajusta con un pasador de seguridad. Además, el sensor de nivel se ajusta con un tornillo de una pulgada en alguno de los orificios presentes en la barra, ver figura 37.

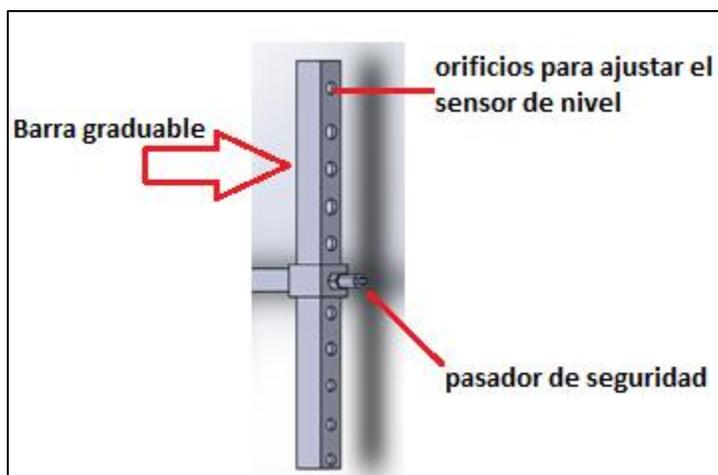


Figura 37. Diseño 3D barra graduable dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia

Las dimensiones de este dispositivo se observan en la figura 38.

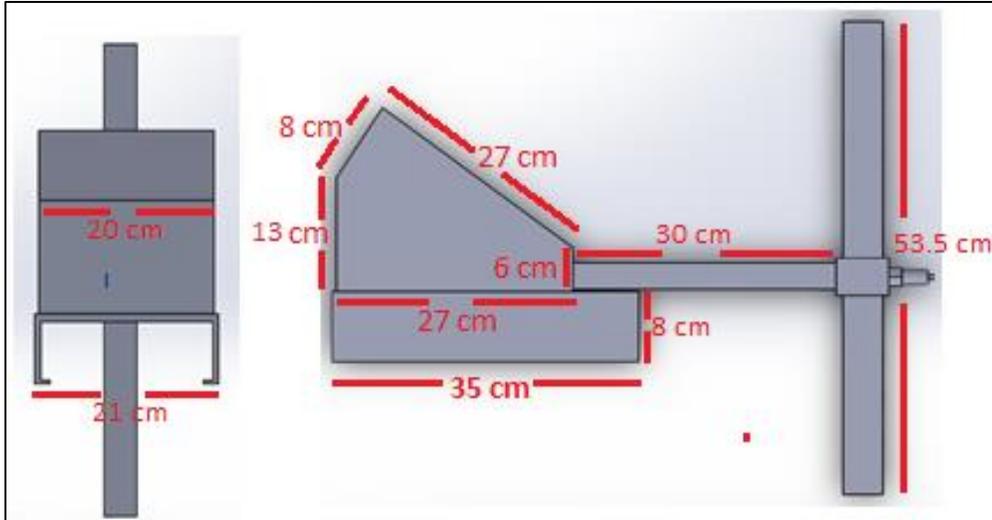


Figura 38. Diseño 3D medidas dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia

### 3.2.2.3. Diseño dispositivo esclavo 2

El dispositivo esclavo 2 se planteó para un estanque donde la superficie a su alrededor es de barro, por lo que se diseñó la base con tubos cuadrados que se pudieran introducir en la tierra y brindar firmeza al dispositivo. También se observa un cilindro, en este internamente se encuentra el circuito PCB con los elementos que hacen parte de este dispositivo, ver figura 39.

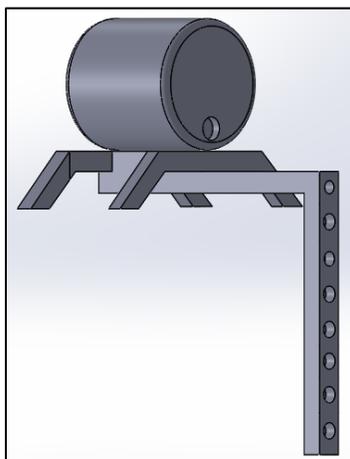


Figura 39. Diseño 3D dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia

Este dispositivo cuenta con un sensor de nivel, el cual se instala en la barra frontal. La posición del sensor se puede cambiar en la barra, ya que esta cuenta con orificios para ajustarlo con un tornillo de una pulgada, ver figura 40.

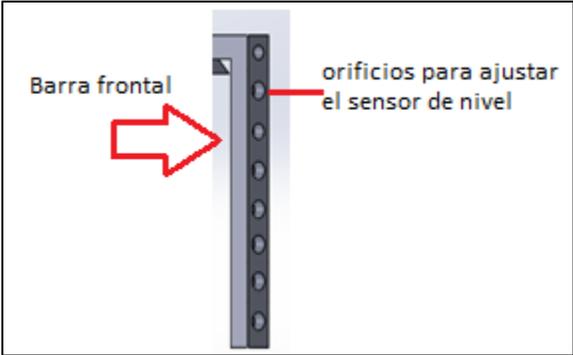


Figura 40. Diseño 3D barra frontal dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia

Las dimensiones de este dispositivo se observan en la figura 41.

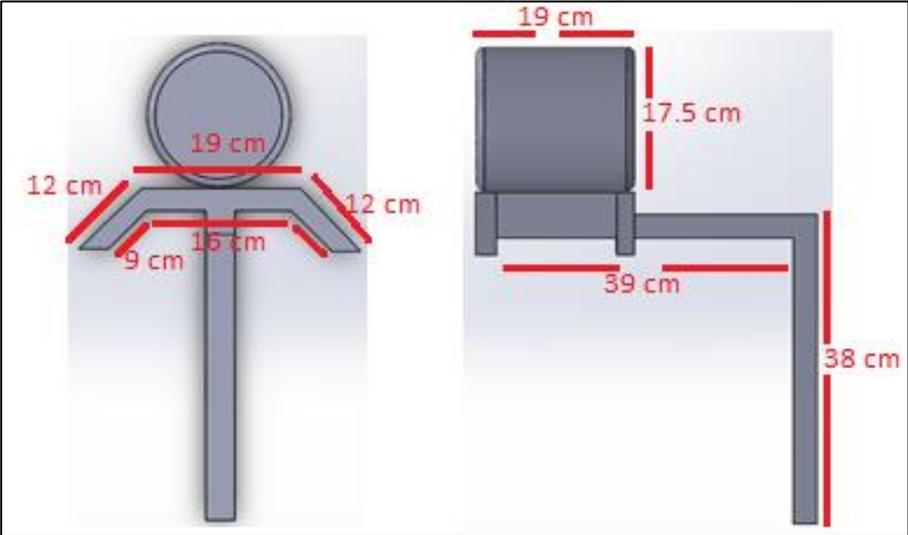


Figura 41. Diseño 3D medidas dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia

## **4. CAPITULO IV: IMPLEMENTACIÓN**

De acuerdo al diseño presentado en el capítulo III se procede a la implementación del sistema completo. En este capítulo se muestran los componentes electrónicos y elementos necesarios para la fabricación de los dos subsistemas: mecánico y electrónico, a continuación, se detalla la implementación del subsistema electrónico, luego el subsistema mecánico, y finalmente se observa el desarrollo completo del sistema.

### **4.1. Implementación subsistema electrónico**

Al implementar los bloques que conforman al subsistema electrónico, se tiene en cuenta la confiabilidad de los componentes y usabilidad de las interfaces a utilizar, se realizan pruebas de transmisión y recepción de señal, funcionamiento de la alarma y finalmente se muestra el dispositivo implementado con su respectiva ficha técnica.

#### **4.1.1. Implementación bloque comunicación**

La comunicación entre los dispositivos maestro/esclavo se realiza de forma inalámbrica, se opta por utilizar módulos Xbee, son módulos de comunicación inalámbrica con capacidad de transmitir datos a grandes distancias con bajo consumo de energía, el Xbee elegido para la comunicación de referencia XBP24-BZ7WIT-004 ilustrado en la figura 42 cuenta con las siguientes características listadas en la tabla 10.

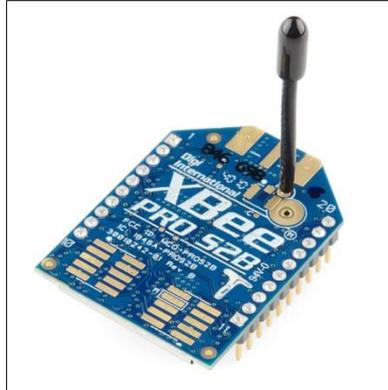


Figura 42. Módulo Xbee PRO serie 2B, Fuente: [56]

Tabla 10. Características de módulo Xbee PRO serie 2B, Fuente: [56]

PARÁMETRO	VALOR
Modelo Xbee	PRO Serie 2B
Tipo de antena	Cable
Alcance en interiores	100 metros
Alcance en exteriores	1500 metros
Frecuencia de trabajo	2.4 GHz
Voltaje de alimentación	2.1V DC – 3.6V DC
Corriente de recepción	31 mA
Corriente de transmisión	45 mA

Para su conexión con los demás componentes se hace uso de una unidad regulada para módulos Xbee, “Esta tarjeta acondiciona las señales de 5V, logrando que los módulos XBee que trabajan a 3.3V, sean compatibles con cualquier otro sistema de 5V o de menor voltaje. De esta manera se logra interfazar los módulos XBee, con diferentes sistemas de 5V como microcontroladores” [57]. Ver figura 43.

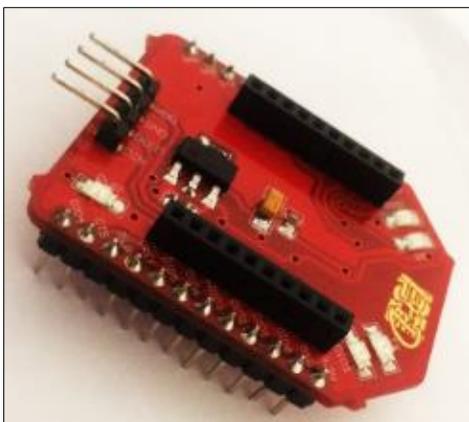


Figura 43. Unidad regulada para módulos Xbee, Fuente: [57]

Finalmente la implementación completa de este bloque se observa en la figura 44.

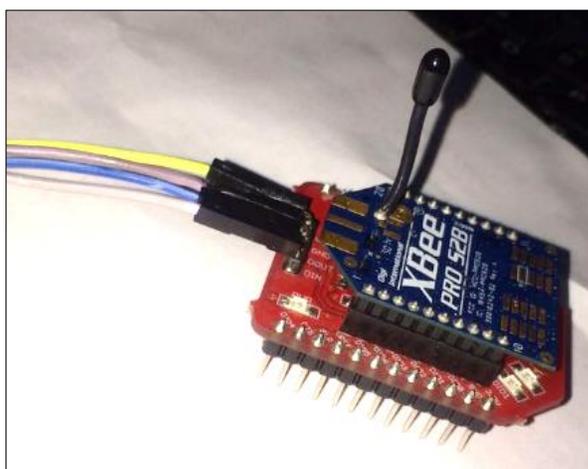


Figura 44. Xbee montado en unidad regulada, Fuente: propia

#### 4.1.2. Implementación bloque alarma

El tipo de alarma que se accionara al detectar el sistema un nivel bajo-alto es una señal sonora, este sistema se ha implementado con una sirena de seis tonos de 12 V DC, esta emite un sonido capaz de escucharse en toda la zona de la estación piscícola, ver figura 45.



Figura 45. Sirena de 12V DC, Fuente: [58]

Para la activación de esta sirena fue necesario implementar un circuito de activación planteado en el bloque alarma del capítulo III.

#### 4.1.3. Implementación bloque conversor de protocolo

Considerando que este sistema debe contar con una comunicación de red industrial, se planteó en el bloque conversor de protocolo del capítulo III utilizar un integrado de referencia SN75176BP para las conversiones entre las señales RS-232 y RS-485, ver figura 46.

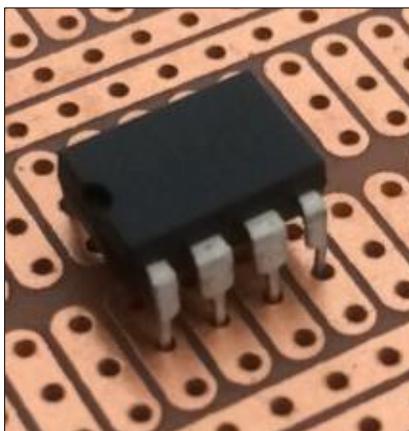


Figura 46. SN75176BP, Fuente: Propia

Finalmente, la ubicación de los componentes mencionados en este bloque en la placa electrónica se observa en la figura 47.

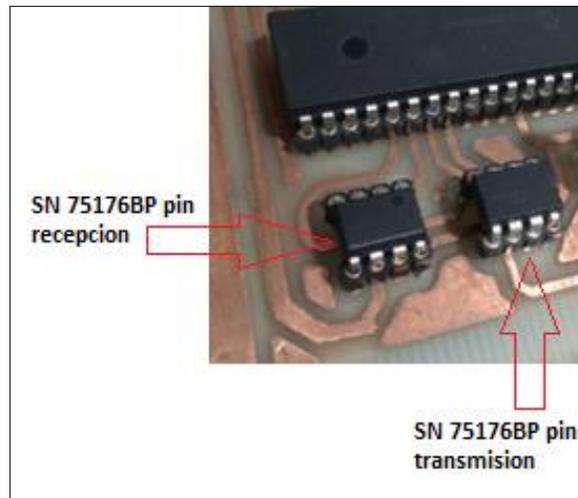


Figura 47. Ubicación de SN75176BP en placa, Fuente: Propia

#### 4.1.4. Implementación bloque HMI

Para la interacción usuario-máquina de este sistema, se ha implementado una pantalla de cristal líquido LCD, además se han implementado una serie de botones para la configuración del funcionamiento, finalmente la ubicación de los componentes mencionados en este bloque se observa en la figura 48.

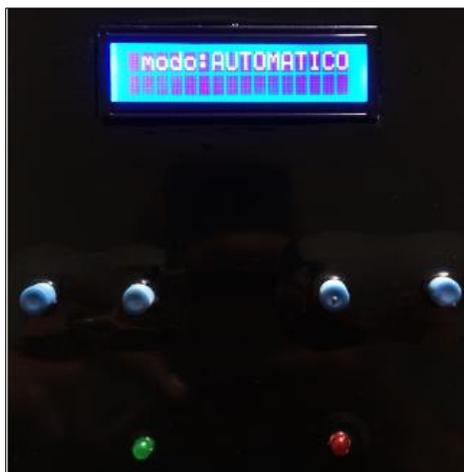


Figura 48. Implementación Bloque HMI, Fuente: Propia

#### 4.1.5. Implementación bloque lógico

Para la implementación del bloque lógico se decide utilizar un Microcontrolador de referencia PIC18F4550, puesto que este cuenta con las características necesarias para realizar el prototipo con puertos de comunicación serial necesarios para transmitir y recibir información, La figura 49 ilustra la distribución de los pines del PIC 18F4550.

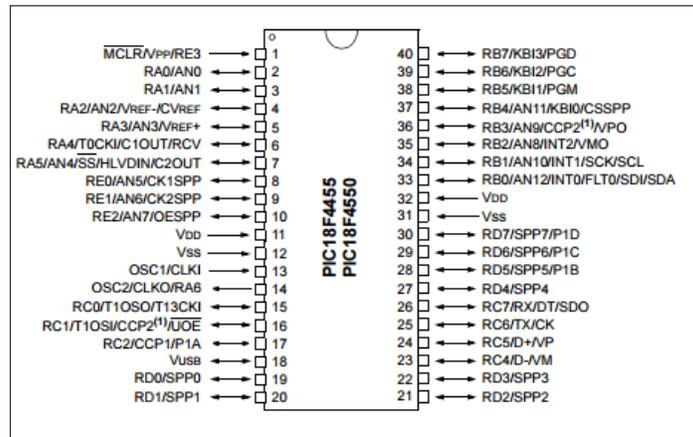


Figura 49. Pic 18F4550, Fuente: [59]

Las características del PIC18F4550 son las siguientes [59]:

- Cumple con el estándar USB V2.0.
- 32kb de memoria de programa Flash.
- Baja velocidad (1,5 Mb/s) y alta velocidad (12 Mb/s).
- Soporta transferencias de Control, Asíncronas, Interrupción y Bulk.
- Soporta un máximo de 32 Endpoints (16 Bidireccionales).
- 1 kByte de RAM con Acceso dual para USB.
- Transmisor USB en el propio chip con Regulador de Voltaje.
- Modo Idle y Sleep con 5,8  $\mu$ A y 0,1  $\mu$ A de consumo respectivamente.
- Alta corriente de salida: 25 mA.
- 35 pines entradas / salidas.
- 13 entradas analógico / digital.

El PIC18F4550 es un microcontrolador de propósito general. La elección de este microcontrolador permite ajustarse a aplicaciones posteriores del proyecto, como la creación de un SCADA en PC que logre transmitir los datos por medio del puerto USB del PIC. La ubicación de los componentes mencionados en este bloque en la placa electrónica se observa en la figura 50.

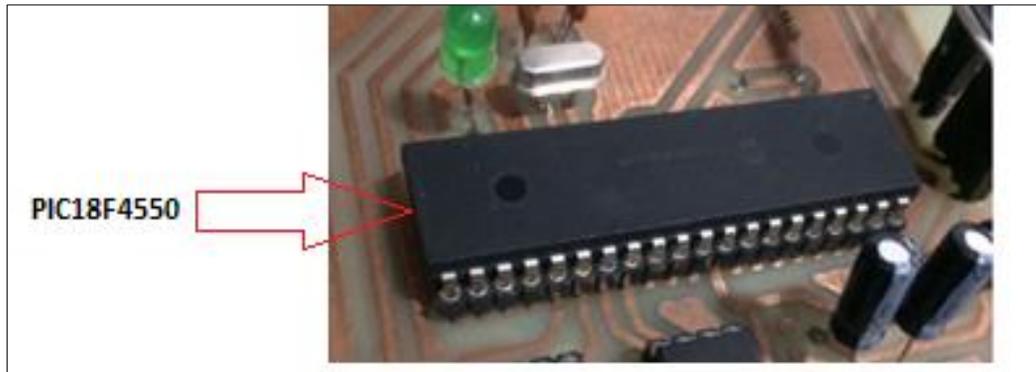


Figura 50. Ubicación Pic18F4550 en placa, Fuente: Propia

#### 4.1.6. Implementación bloque potencia

La implementación de este bloque debe tener en cuenta fuentes de voltaje con valores diferentes por lo cual se divide en módulos para su explicación detallada.

##### 4.1.6.1. Módulo de potencia maestro

De acuerdo la tabla 8 en el capítulo de diseño este módulo debe ser capaz de suplir 12 Voltios DC y 385 mA, implementación se realiza con cargador genérico de 12 Voltios DC y 1000 mA supliendo las necesidades expuestas, ver figura 51.



Figura 51. Cargador genérico, Fuente: [60]

Tabla 11. Características de cargador genérico, Fuente: Propia

PARAMETRO	VALOR
Voltaje de entrada ( $V_{in}$ )	110-240 V AC
Frecuencia de operación	50-60 Hz
Voltaje de salida ( $V_{out}$ )	12 V DC
Corriente máxima de salida	1000 mA

En vista de que este módulo además de entregar un valor de voltaje de 12 VDC, debe brindar un voltaje de 5 VDC, para esto se implementa el circuito regulador de tensión expuesto en el bloque de potencia del capítulo de diseño.

Finalmente la ubicación de los componentes mencionados en este bloque se observa en la figura 52.

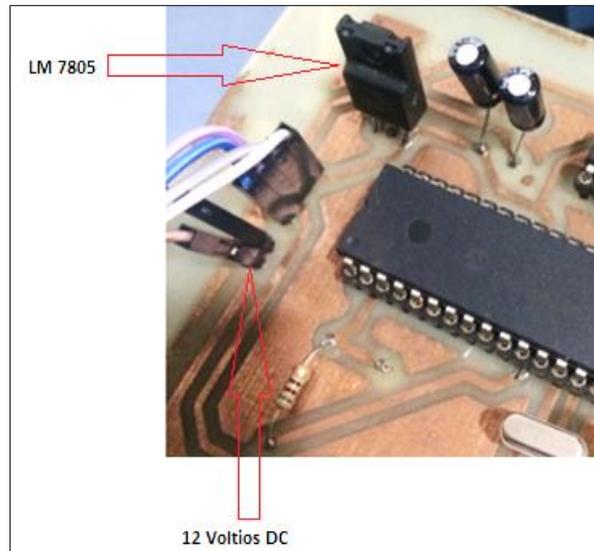


Figura 52. Ubicación del Microcontrolador en la placa, Fuente: Propia

#### 4.1.6.2. Módulo de potencia esclavo

Su implementación se realiza mediante una batería seca de 6 VDC, se debe tener en cuenta que son dos dispositivos Esclavo y cada uno debe estar alimentado con fuente independiente, ver figura 53.

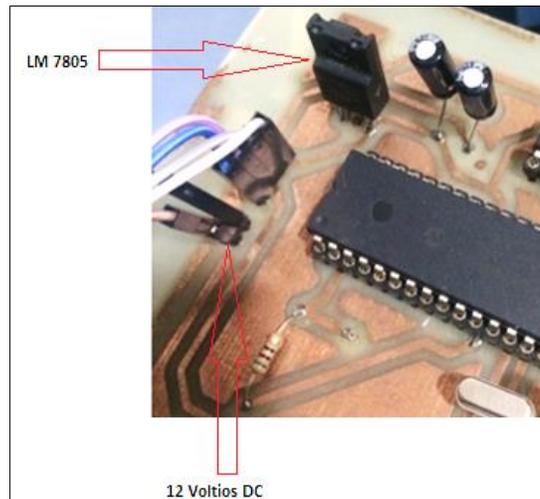


Figura 53. Batería seca de 6 voltios DC, Fuente: propia

**Tabla 12. Características Batería seca de 6 VDC, Fuente: Propia**

<b>PARAMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Voltaje de salida (Vout)	6 V DC
Corriente máxima de salida	5000 mA

Además de utilizar la batería seca de 6 V DC se debe implementar el circuito regulador de tensión expuesto en el bloque de potencia del capítulo de diseño para alimentar los componentes conectados a cada dispositivo, ver figura 54.



**Figura 54. Lazo de control abierto adaptador de tensión disp. Esclavo, Fuente: Propia**

## 4.2. Implementación subsistema mecánico

Luego del diseño planteado en el capítulo III se procede a la implementación de cada elemento presente en este subsistema.

### 4.2.1. Implementación bloque sensor

En el diseño del bloque sensor del subsistema mecánico, se optó por utilizar un sensor de flotador, para la implementación de este bloque se realiza con un medidor de combustible de camioneta TOYOTA LAND CRUISER, este cuenta con el desplazamiento necesario del flotador sobre el agua en los estanques para la medición del nivel. Ver figura 55.



Figura 55. Medidor de combustible, Fuente: Propia

### 4.2.2. Implementación gabinete de contención de dispositivos

En esta sección del documento se muestra la implementación del gabinete de contención de los dispositivos: Maestro y Esclavo, teniendo en cuenta el diseño realizado en el capítulo III.

#### 4.2.2.1. Implementación dispositivo maestro

Es el dispositivo encargado de coordinar todo el proceso de monitoreo de nivel de agua en los estanques, su carcasa se realizó con acrílico negro en diferentes piezas, ver tabla 13:

Tabla 13. Piezas de Dispositivo Maestro, Fuente: Propia

<p><b>Pieza tapa posterior:</b> es un rectángulo de acrílico que hace parte del conjunto.</p>	 <p>Figura 56. Tapa posterior Maestro, Fuente: Propia</p>
<p><b>Pieza tapas laterales:</b> pieza en acrílico con un corte diagonal siguiendo el diseño del gabinete de este dispositivo.</p>	 <p>Figura 57. Tapa lateral Maestro, Fuente: Propia</p>

**Pieza tapa base:** es un rectángulo de acrílico el cual va situado en la base de todo el conjunto.



**Figura 58. Tapa base Maestro, Fuente: Propia**

**Pieza tapa frontal:** en esta pieza se ubicarán elementos que hacen parte del bloque HMI.



**Figura 59. Tapa Frontal, Fuente: Propia**

Finalmente se unieron todos los elementos y piezas que hacen parte del dispositivo Maestro, ver figura 60.

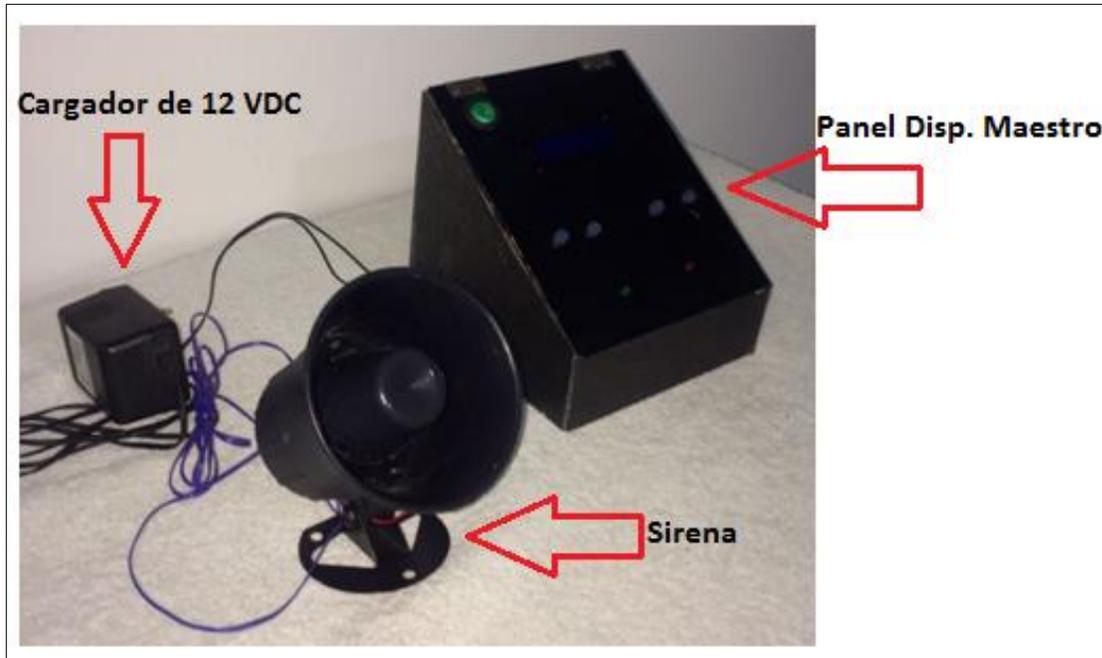


Figura 60. Dispositivo Maestro, Fuente: Propia

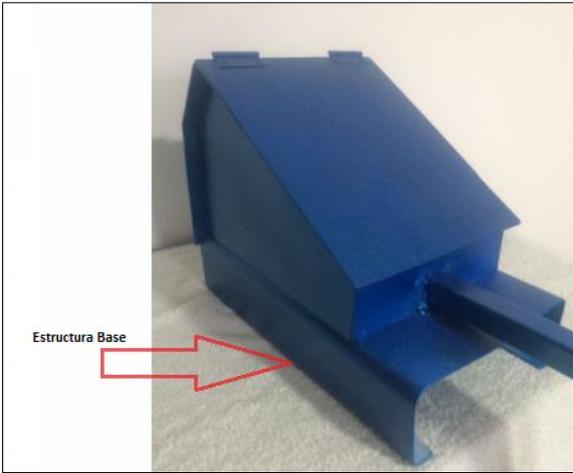
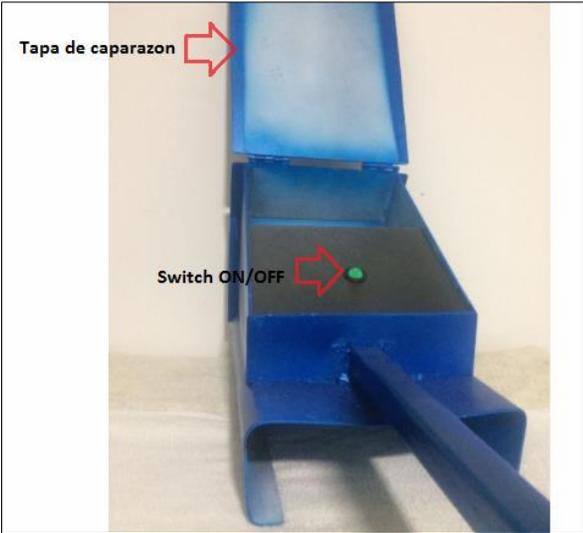
#### 4.2.2.2. Implementación de dispositivo esclavo

Para la realización de los dispositivos esclavo, se tuvo en cuenta que en la ubicación de trabajo de estos dispositivos están expuestos a constantes cambios climáticos, por lo que se debe realizar una estructura capaz de resistir todos estos cambios y tenga una durabilidad bastante amplia, para ellos se decide utilizar materiales metálicos.

##### 4.2.2.2.1. Dispositivo esclavo 1

El dispositivo esclavo 1 se ubicará en un estanque cuadrado, que tiene una superficie plana de concreto alrededor del estanque, a continuación, se muestran cada una de sus partes, ver tabla 14.

Tabla 14. Piezas de Dispositivo Esclavo 1, Fuente: Propia

DESCRIPCIÓN	FIGURA
<p>Estructura base en lámina de acero</p>	 <p>Figura 61. Estructura Base, Fuente Propia</p>
<p>Dentro del caparazon del dispositivo se encuentran los elementos utilizados en el dispositivo Esclavo 1 al levantar la tapa del caparazon se observa el Switch de ON/OFF.</p>	 <p>Figura 62. Ubicación Switch y Tapa caparazón, Fuente: Propia</p>

Dentro del caparazón se encuentran también la tarjeta PCB el módulo de comunicaciones y la batería seca.

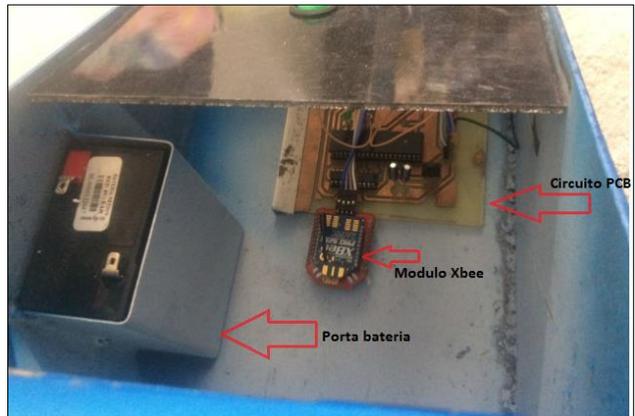


Figura 63. Dispositivo Esclavo 1 internamente, Fuente: Propia

El elemento encargado de sensar el nivel de agua está unido a una barra de acero de tipo estructural cuadrado.

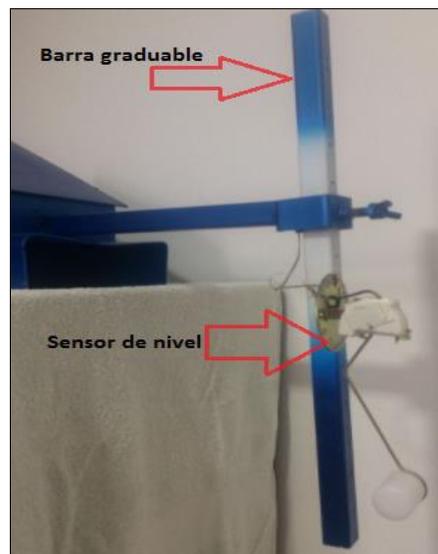


Figura 64. Ubicación de Sensor de nivel, Fuente: Propia

Finalmente se unieron todos los elementos y piezas que hacen parte del dispositivo Esclavo 1. Ver figura 65.

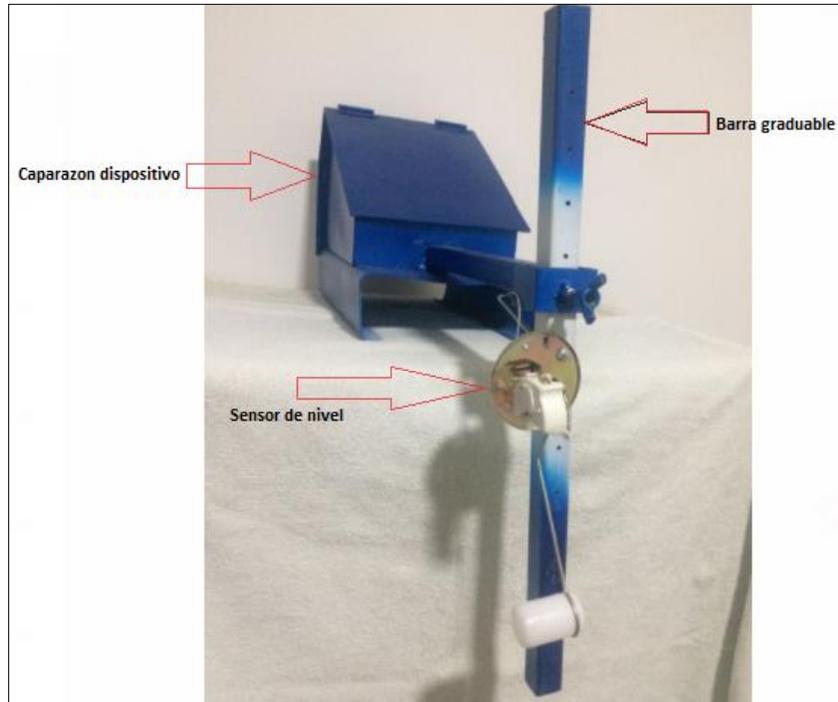


Figura 65. Dispositivo Esclavo 1, Fuente: Propia

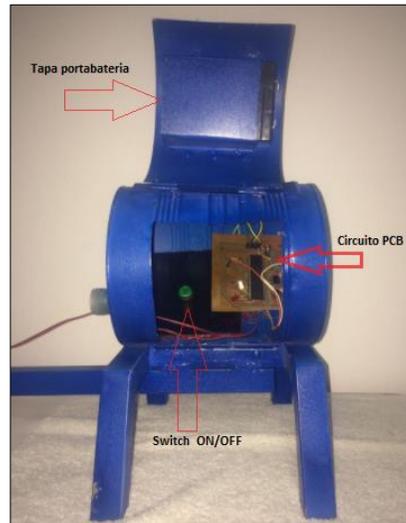
#### 4.2.2.2.2. Dispositivo esclavo 2

El dispositivo esclavo 2 se ubicará en un estanque circular, la superficie alrededor de este es de tierra húmeda, a continuación, se muestran cada una de sus partes, ver tabla 15.

Tabla 15. Piezas Dispositivo Esclavo 2, Fuente: Propia

DESCRIPCIÓN	FIGURA
<p>La estructura base se debe realizar con tubo estructural cuadrado de acero, este se puede aferrar con facilidad a la tierra.</p>	 <p>Figura 66. Estructura Disp. Esclavo 2, Fuente: Propia</p>
<p>Para realizar el caparazón del dispositivo Esclavo 2 se decide utilizar tarro de pintura metálico.</p>	 <p>Figura 67. Caparazón Disp. Esclavo 2, Fuente: Propia</p>

Dentro del caparazón se encuentran los elementos que hacen parte del dispositivo Esclavo 2.



**Figura 68. Componentes internos Disp. Esclavo 2, Fuente: Propia**

La estructura del dispositivo esclavo 2 cuenta con una barra donde se ubica el sensor de nivel.



**Figura 69. Ubicación de Sensor de nivel Disp. Esclavo 2, Fuente: Propia**

Finalmente se unieron todos los elementos y piezas que hacen parte del dispositivo Esclavo 2. Ver figura 70.

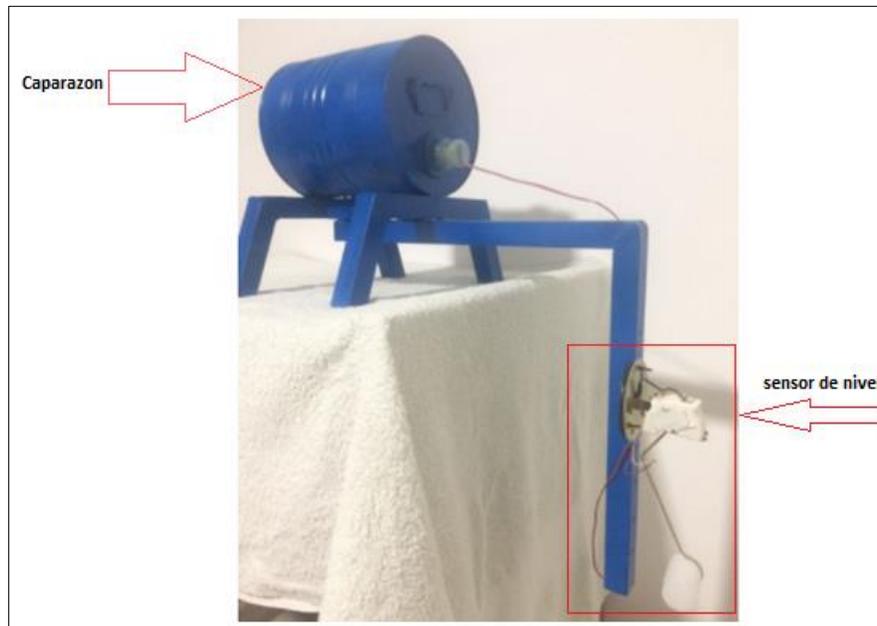


Figura 70. Dispositivo Esclavo 2, Fuente: Propia

#### 4.2.3. Puesta a punto del sistema

Diseñados los subsistemas mecánico y eléctrico, es necesario hacer que estos funcionen de manera sincronizada y eficiente, para esto se han adoptado una serie de pasos que permiten una interacción óptima entre todos los componentes del sistema de monitoreo de nivel de agua en estanques contenedores de peces.

##### 4.2.3.1. Comprobación de comunicación inalámbrica

Inicialmente se realizaron pruebas de comunicación inalámbrica con los módulos Xbee, fue necesario configurar cada módulo para que estos se pudieran comunicar, pues cada módulo Xbee tiene una numeración única. Estos módulos se configuran de acuerdo a la función a cumplir, ya sea como dispositivo coordinador o dispositivo final, una vez configurados los módulos se realizaron las

pruebas de comunicación inalámbrica a distintas distancias. Comenzando desde 10 centímetros de distancia entre el maestro y los esclavos y aumentando cada 2 metros hasta llegar a 100 metros, luego se probó la comunicación cada 20 metros hasta llegar a los 300 metros, se comprobó que la interacción entre los módulos Xbee no tuvo fallas.

#### **4.2.3.2. Comprobación de funcionamiento del sensor de nivel**

Inicialmente se implementa el circuito divisor de tensión planteado en el bloque sensor del capítulo III, luego se hacen pruebas de medición de nivel de agua en un recipiente, se cerciora de que la variación del nivel de agua se refleje de igual forma en los datos leídos por el microcontrolador, luego se deciden los rangos de cada estado del nivel del agua requeridos por encargado de la estación piscícola, finalmente se comprueba el censado del nivel de agua en los estanques de la estación piscícola SAN ROQUE.

#### **4.2.3.3. Comprobación de funcionamiento de alarma**

Inicialmente se implementa el circuito de activación planteado en el bloque alarma del capítulo III, luego se hacen pruebas de acuerdo a la señal entregada por el microcontrolador, será un HIGH en el circuito de activación cuando el nivel del agua en los estanques sea alta o baja, y será un LOW cuando el agua este en estado medio. Finalmente se hicieron pruebas a 100 metros de distancia entre el maestro y los dispositivos esclavo, se tomaron 32 muestras para obtener un promedio del tiempo de respuesta de la alarma con cada dispositivo Esclavo.

#### 4.2.4. Implementación sistema electrónico de monitoreo de nivel de agua y alarma

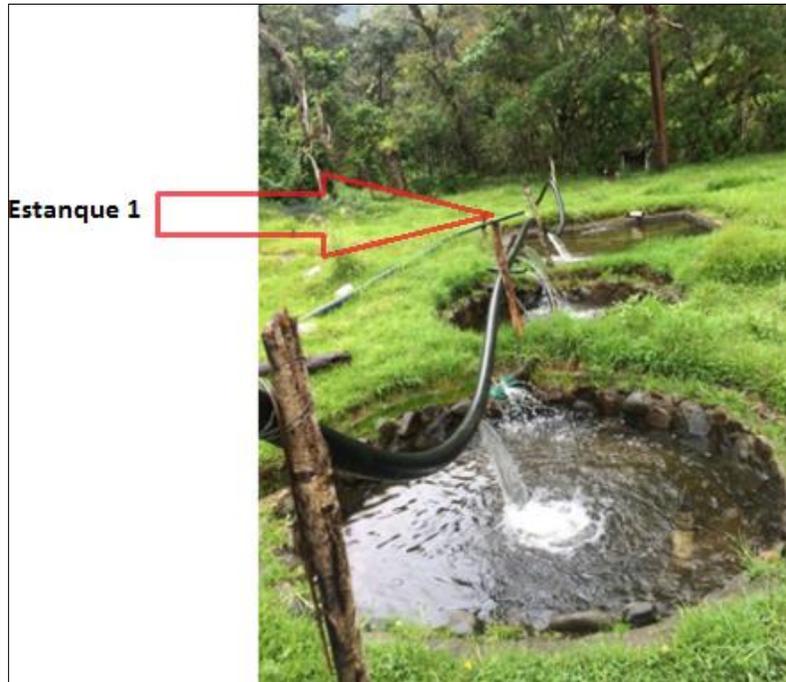
El diseño e implementación del subsistema electrónico y mecánico permiten su unión para que en conjunto se logre el monitoreo de nivel de agua y así alertar al encargado de la estación piscícola de que está ocurriendo un evento adverso, el cual es de gran importancia para la asociación de piscicultores de Sotara Cauca. Como finalidad se instalaron los dispositivos Maestro y Esclavo en la estación piscícola SAN ROQUE.

El dispositivo Maestro fue instalado en la vivienda principal, que es habitada por el encargado de la estación piscícola SAN ROQUE, ver figura 71.



Figura 71. Ubicación de Vivienda principal, Fuente: Propia

En la figura 72 se muestran algunos estanques contenedores de peces de la estación piscícola. El estanque 1 fue uno de los estanques seleccionados para realizar el sensado del nivel de agua.



**Figura 72. Ubicación estanque 1, Fuente: Propia**

El dispositivo Esclavo 1 fue instalado en el estanque 1, ver figura 73.



**Figura 73. Dispositivo Esclavo 1, Fuente: Propia**

En la figura 74 se muestran los estanques circulares contenedores de peces de la estación piscícola, el estanque 2 fue uno de los estanques seleccionados para realizar el sensado del nivel de agua.



**Figura 74. Ubicación Estanque 2, Fuente: Propia**

El dispositivo Esclavo 2 fue instalado en el estanque 2, ver figura 75.



**Figura 75. Ubicación Dispositivo Esclavo 2, Fuente: Propia**

#### 4.2.5. Ficha técnica

La ficha técnica de cada dispositivo es relevante en este documento, ya que con ella se evidencia las características principales de cada uno, a continuación se muestra cada una de ellas.

Tabla 16. Ficha técnica dispositivo maestro, Fuente: Propia

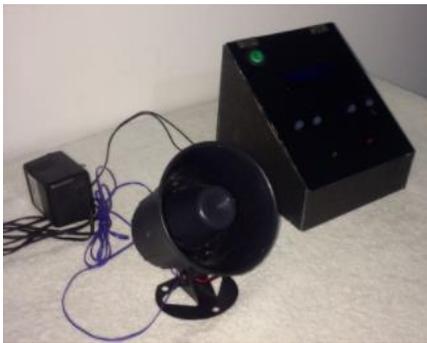
FICHA TÉCNICA			
<b>Nombre del sistema</b>	Dispositivo maestro		
<b>Imagen del sistema</b>	 <p>Figura 76. Dispositivo maestro, Fuente: Propia</p>		
<b>Descripción:</b>	Dispositivo portable complemento de sistema de monitoreo de nivel de agua, es el encargado de coordinar el proceso, cuenta con sistema de interacción sencillo para el usuario.		
<b>Resistente a salpicadura de agua:</b>	no	<b>Voltaje de Operación:</b>	12 VDC 5 VDC
<b>Batería:</b>	no	<b>cargador</b>	Si de 12 VDC - 1000mA
<b>portable:</b>	si	<b>Color:</b>	negro
<b>Comunicación inalámbrica:</b>	si	<b>Alarma:</b>	si
		<b>Sensores:</b>	no
<b>Materiales:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acrílico negro</li> </ul>		

Tabla 17. Ficha técnica dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia

FICHA TÉCNICA			
<b>Nombre del sistema</b>	Dispositivo esclavo 1		
<b>Imagen del sistema</b>	 <p>Figura 77. Dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia</p>		
<b>Descripción:</b>	Dispositivo portable complemento de sistema de monitoreo de nivel de agua, es de fácil instalación adaptable a varios estanques, este se encarga del sensado del nivel de agua.		
<b>Resistente a salpicadura de agua:</b>	si	<b>Voltaje de Operación:</b>	5 VDC
<b>Batería:</b>	Seca de 6 VDC-5000 mA	<b>% de error:</b>	2,6%
<b>portable:</b>	si	<b>Color:</b>	Azul.
<b>Comunicación inalámbrica:</b>	si	<b>Alarma:</b>	No
		<b>Notificación:</b>	Si, led rojo.
<b>Sensores:</b>	sensor de nivel de referencia: medidor de combustible de Toyota 2F Land Cruiser		
<b>Materiales:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lamina de acero inoxidable</li> <li>• Acrílico negro</li> <li>• Tubo estructural cuadrado en acero</li> </ul>		

Tabla 18. Ficha técnica dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia

FICHA TÉCNICA			
<b>Nombre del sistema</b>	Dispositivo esclavo 2		
<b>Imagen del sistema</b>	 <p style="text-align: center;">Figura 78. Dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia</p>		
<b>Descripción:</b>	Dispositivo portable complemento de sistema de monitoreo de nivel de agua, es de fácil instalación adaptable a varios estanques, este se encarga del sensado del nivel de agua.		
<b>Resistente a salpicadura de agua:</b>	si	<b>Voltaje de Operación:</b>	5 VDC
<b>Batería:</b>	Seca de 6 VDC-5000 mA	<b>% de error:</b>	3.09%
<b>portable:</b>	si	<b>Color:</b>	Azul.
<b>Comunicación inalámbrica:</b>	si	<b>Alarma:</b>	No
		<b>Notificación:</b>	Si, led rojo.
<b>Sensores:</b>	sensor de nivel de referencia: medidor de combustible de Toyota 2F Land Cruiser		
<b>Materiales:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cilindro metalico</li> <li>• Acrílico negro</li> <li>• Tubo estructural cuadrado en acero</li> </ul>		

## 5. CAPÍTULO V: PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA

### 5.1. Diseño experimental

El diseño experimental consta de una serie de pruebas realizadas con el sistema de monitoreo de nivel de agua, las cuales consisten en la toma de datos para calcular el tiempo de respuesta de la alarma. También se toman datos del nivel de agua de los estanques cuando se encuentra en el punto de activación de la alarma en bajo y alto. Esta toma de datos permiten analizar el sistema desde un punto estadístico, encontrando datos de: error relativo, error absoluto, varianza y desviación estándar.

Para la toma de los datos de las pruebas anteriormente nombradas, se tuvo en cuenta que el sistema contaba con dos dispositivos esclavos, estos se realizaron con materiales distintos, y se encontraban ubicados a distintas distancias.

#### 5.1.1. Prueba 1

Se propone realizar la toma de datos para registrar el tiempo de respuesta de la alarma con cada dispositivo esclavo, estos se deben de ingresar en la siguiente tabla la cual se encuentra diligenciada en el anexo 3:

Tabla 19. Tiempo de respuesta de los Dispositivos Esclavos, Fuente: Propia

No. prueba	TIEMPO DE RESPUESTA DISP. ESCLAVO 1 (SEG)	TIEMPO DE RESPUESTA DISP. ESCLAVO 2 (SEG)
1		
2		
3		
...		
34		

### 5.1.2. Prueba 2

se propone realizar la toma de datos del nivel de agua de los estanques cuando se encuentra en el punto de activación de la alarma en bajo y alto con cada dispositivo esclavo, se sabe que los estanques tienen una profundidad de 42 centímetros y de acuerdo al proceso se considera que: es **bajo** cuando el nivel de agua está sobre los 22 centímetros respecto al estanque, y es **alto** cuando el nivel de agua está por encima de los 36 centímetros respecto al estanque, estos datos se deben registrar en la siguiente tabla, la cual hace referencia a la tabla 28 que se encuentra diligenciada en el anexo 3.

Tabla 20. Valor de nivel medido con cada dispositivo esclavo, Fuente: Propia

No. Prueba	Valor (Cm) bajo Disp. Esclavo 1	Valor (Cm) alto Disp. Esclavo 1	Valor (Cm) bajo Disp. Esclavo 2	Valor (Cm) alto Disp. Esclavo 2
1				
2				
3				
...				
34				

### 5.2. Pruebas y resultados

Después de realizar las pruebas planteadas en el diseño experimental, estas son registradas en tablas (ver anexo 3), luego de obtener los datos necesarios se procede a hallar los valores estadísticos anteriormente mencionados. Además se hace una representación gráfica para el análisis de los datos, las cuales se muestran más adelante.

### 5.2.1. Prueba I.

La prueba I se realiza con el fin de conocer el tiempo de respuesta del sistema, para ello se hicieron una serie de pruebas, las cuales se registraron en la tabla correspondiente a esta prueba, ver anexo 3.

- i. Se realizaron pruebas de tiempo de respuesta de alarma con el dispositivo esclavo 1. Estos datos fueron registrados en la columna 2 de tabla 26 del anexo 3 y su representación gráfica se muestra a continuación:

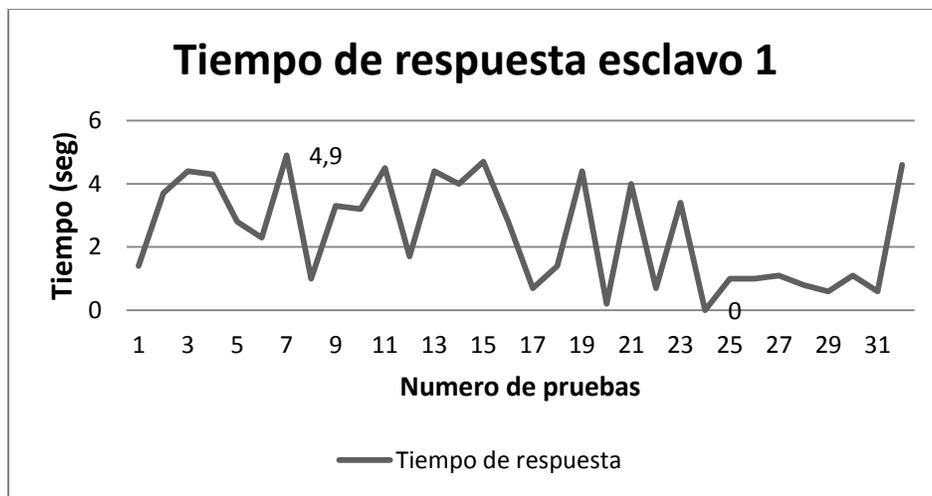


Figura 79. Grafico tiempo de respuesta esclavo 1, Fuente: Propia

En la anterior gráfica, se puede observar el sistema con el dispositivo esclavo 1 en funcionamiento, de acuerdo a la gráfica el de mayor tiempo de respuesta fue de 4,9 segundos y el menor fue de 0 segundos. Realizando un promedio entre los datos registrados tenemos como resultado un tiempo de respuesta de 2,468 segundos.

- ii. Se realizaron pruebas de tiempo de respuesta de alarma con el dispositivo esclavo 2, estos datos fueron registrados en la columna 3 de tabla 26 del anexo 3 y su representación gráfica se muestra a continuación:

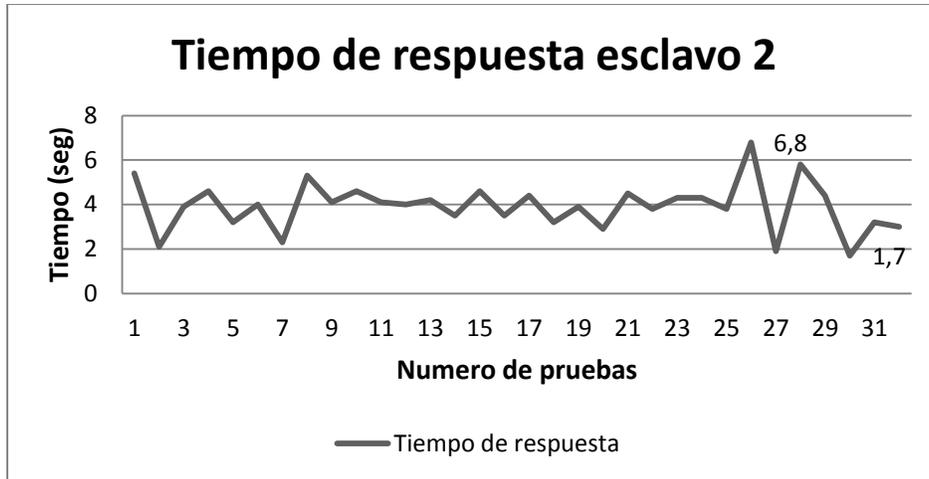


Figura 80. Grafica tiempo de respuesta esclavo 2, Fuente: Propia

De acuerdo a la anterior gráfica, se puede observar el sistema con el dispositivo esclavo 2 en funcionamiento, de acuerdo a la gráfica el de mayor tiempo de respuesta fue de 6,8 segundos, y el menor fue de 1,7 segundos. Realizando un promedio entre los datos registrados tenemos como resultado un tiempo de respuesta de 3,91 segundos.

Luego de analizar los datos de tiempo de respuesta, se observa que el sistema una respuesta rápida con respecto al proceso, ya que para que ocurra un evento critico se requiere de un tiempo mucho mayor, finalmente se comparan los tiempos promedio de cada dispositivo esclavo, se puede observar que el esclavo 2 tiene un mayor tiempo de respuesta que el esclavo 1, ver figura 81.

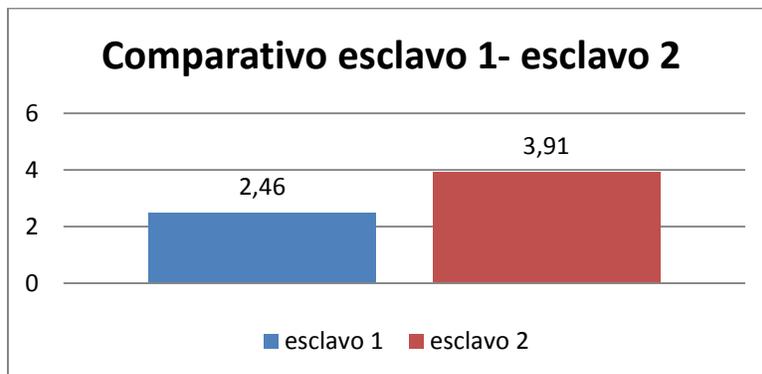


Figura 81. Comparativo esclavo 1- esclavo 2, Fuente: Propia

### 5.2.2. Prueba II.

La prueba II se realiza con el fin de registrar los valores de medida en la posición del flotador del sensor de nivel sobre el agua respecto a los estanques, logrando la activación de la alarma con cada dispositivo esclavo.

- i. Con el dispositivo esclavo 1 funcionando, se gráfica el valor en el que la alarma se activó en bajo y el valor de referencia de acuerdo al proceso. Los valores registrados se muestran en la figura 82.

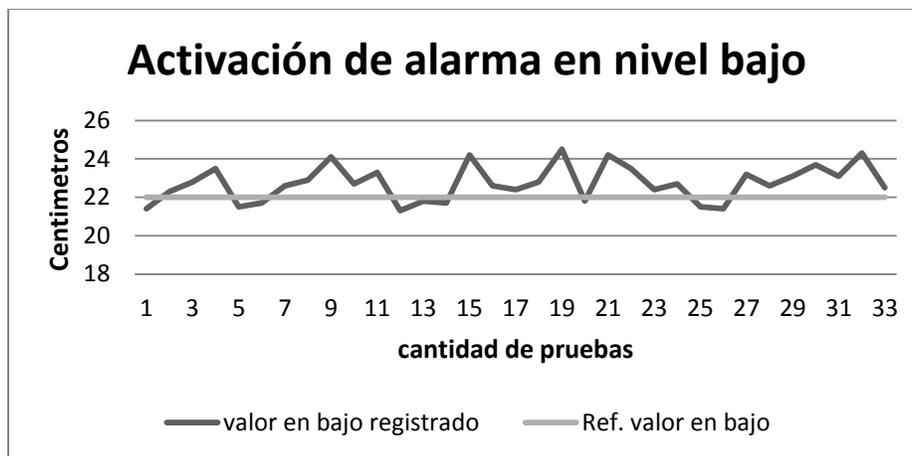


Figura 82. Grafica activación de alarma en nivel bajo, Fuente: Propia

El promedio de los datos registrados en la tabla de activación de alarma en nivel bajo con el dispositivo esclavo 1 funcionando es de 22,73 centímetros. Ya obtenido este valor se procede a hallar el error absoluto y el error relativo.

Aplicando formula de error absoluto:

$$Error\ Absoluto = |22 - 22,73|$$

$$Error\ Absoluto = 0.73$$

Aplicando formula de error relativo:

$$\text{Error Relativo} = \frac{0.73}{22} * 100$$

$$\text{Error Relativo} = 3.31\%$$

Conociendo la media que es de 22,73 se procede a encontrar la varianza por medio de la fórmula:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Dónde:

➤  $(X_i - \bar{x})^2 = a$

➤  $n - 1 = 32$

•  $a = (-1,33)^2 + (-0,43)^2 + (0,07)^2 + (0,77)^2 + (-1,23)^2 + (-1,03)^2 + (-0,13)^2 + (0,17)^2 + (1,37)^2 + (-0,03)^2 + (0,57)^2 + (-1,43)^2 + (-0,93)^2 + (-1,03)^2 + (1,47)^2 + (-0,13)^2 + (-0,33)^2 + (0,07)^2 + (1,77)^2 + (-0,93)^2 + (1,47)^2 + (0,77)^2 + (-0,33)^2 + (-0,03)^2 + (-1,23)^2 + (-1,33)^2 + (0,47)^2 + (-0,13)^2 + (0,37)^2 + (0,97)^2 + (0,37)^2 + (1,57)^2 + (-0,23)^2$

Entonces

$$S^2 = \frac{27,7497}{32}$$

$$S^2 = 0.8671$$

Obteniendo el valor de la varianza se aplica la fórmula para hallar la desviación estándar:

$$S = \sqrt{s^2}$$

$$S = \sqrt{0.8671}$$

$$S = 0.9311$$

Este resultado de la desviación estándar indica que los datos registrados tienen una dispersión de 0.9311 con respecto a la media.

- ii. Con el dispositivo esclavo 1 funcionando, se gráfica el valor en el que la alarma se activó en alto y el valor de referencia de acuerdo al proceso. Los valores registrados se muestran en la figura 83.

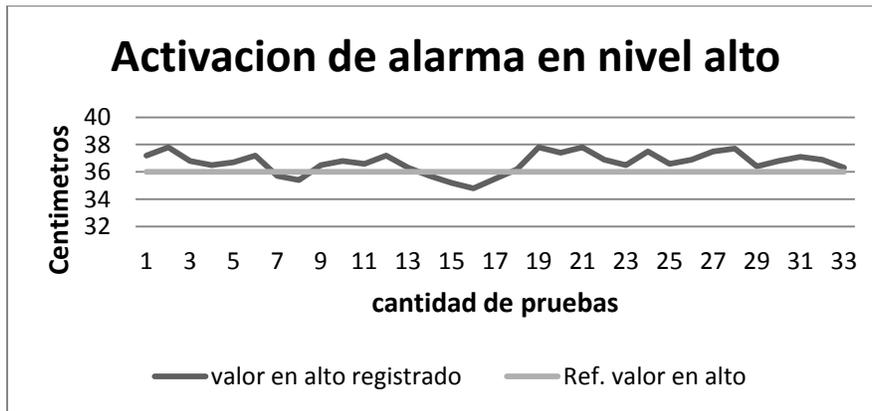


Figura 83. Grafica activación de alarma en nivel alto, Fuente: Propia

El promedio de los datos registrados en esta tabla de activación de alarma en nivel alto con el dispositivo esclavo 1 funcionando es de 36,67 centímetros. Ya obtenido este valor se procede a hallar el error absoluto y el error relativo.

Aplicando formula de error absoluto:

$$\text{Error Absoluto} = |36 - 36,67|$$

$$\text{Error Absoluto} = 0.67$$

Aplicando formula de error relativo:

$$\text{Error Relativo} = \frac{0.67}{36} * 100$$

$$\text{Error Relativo} = 1.86\%$$

Conociendo la media que es de 36,67 se procede a hallar la varianza por medio de la fórmula:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Dónde:

➤  $(X_i - \bar{x})^2 = a$

➤  $n - 1 = 32$

•  $a = (0,528)^2 + (1,128)^2 + (0,128)^2 + (-0,172)^2 + (0,028)^2 + (0,528)^2 + (-0,972)^2 + (-1,272)^2 + (-0,172)^2 + (0,128)^2 + (-0,072)^2 + (0,528)^2 + (-0,372)^2 + (-0,972)^2 + (-1,472)^2 + (-1,872)^2 + (-1,172)^2 + (-0,472)^2 + (1,128)^2 + (0,728)^2 + (1,128)^2 + (0,228)^2 + (-0,172)^2 + (0,828)^2 + (-0,072)^2 + (0,228)^2 + (0,828)^2 + (1,028)^2 + (-0,272)^2 + (0,128)^2 + (0,428)^2 + (0,228)^2 + (-0,372)^2$

Entonces

$$S^2 = \frac{19,225}{32}$$

$$S^2 = 0.60$$

Obteniendo el valor de la varianza se aplica la fórmula para hallar la desviación estándar:

$$S = \sqrt{S^2}$$

$$S = \sqrt{0.60}$$

$$S = 0.77$$

Este resultado de la desviación estándar indica que los datos registrados tienen una dispersión de 0.77 con respecto a la media.

Finalmente se registran los datos obtenidos por el dispositivo esclavo 1 en la tabla 21.

**Tabla 21. Datos dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia**

	<b>Error absoluto</b>	<b>Error relativo</b>	<b>varianza</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>Nivel bajo</b>	0,73	3,331%	0,867	0,93
<b>Nivel alto</b>	0,67	1,86%	0.60	0.77
<b>promedio</b>	0,7	2,6%	0,73	0,85

- iii. Con dispositivo esclavo 2 funcionando, se gráfica el valor en el que la alarma se activó en bajo y el valor de referencia de acuerdo al proceso. Los valores registrados se muestran en la figura 84.

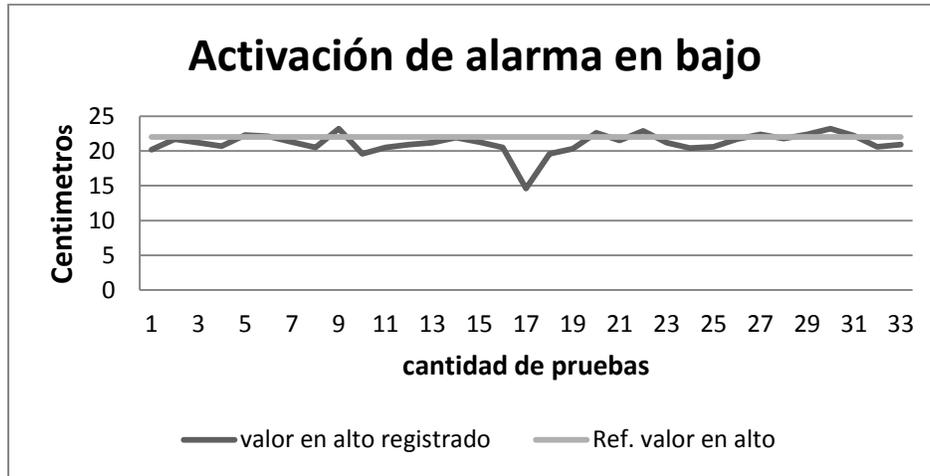


Figura 84. Grafica activación de alarma en bajo, Fuente: Propia

El promedio de los datos registrados en esta tabla de activación de alarma en nivel bajo con el dispositivo esclavo 2 funcionando es de 21,15 centímetros. Ya obtenido este valor se procede a hallar el error absoluto y el error relativo.

Aplicando formula de error absoluto:

$$\text{Error Absoluto} = |22 - 21,15|$$

$$\text{Error Absoluto} = 0,85$$

Aplicando formula de error relativo:

$$\text{Error Relativo} = \frac{0,85}{22} * 100$$

$$\text{Error Relativo} = 3,86\%$$

Conociendo la media que es de 36,67 se procede a hallar la varianza por medio de la fórmula:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Dónde:

➤  $(X_i - \bar{x})^2 = a$

➤  $n - 1 = 32$

•  $a = (-0,9515)^2 + (0,5485)^2 + (0,0485)^2 + (-0,4515)^2 + (1,1485)^2 + (0,9485)^2 + (0,1485)^2 + (-0,6515)^2 + (2,0485)^2 + (-1,5515)^2 + (-0,6515)^2 + (-0,2515)^2 + (-0,0485)^2 + (0,7485)^2 + (0,1485)^2 + (-0,6515)^2 + (-6,5515)^2 + (-1,5515)^2 + (-0,8515)^2 + (1,4485)^2 + (0,3485)^2 + (1,7485)^2 + (0,0485)^2 + (-0,7515)^2 + (-0,5515)^2 + (0,5485)^2 + (1,2485)^2 + (0,6485)^2 + (1,2485)^2 + (2,0485)^2 + (1,0485)^2 + (-0,5515)^2 + (-0,2515)^2$

Entonces

$$S^2 = \frac{73,882}{32}$$

$$S^2 = 2,30$$

Obteniendo el valor de la varianza se aplica la fórmula para hallar la desviación estándar:

$$S = \sqrt{S^2}$$

$$S = \sqrt{2,30}$$

$$S = 1,516$$

Este resultado de la desviación estándar indica que los datos registrados tienen una dispersión de 1,51 con respecto a la media.

- iv. Con dispositivo esclavo 2 funcionando, se gráfica el valor en el que la alarma se activó en alto y el valor de referencia de acuerdo al proceso. Los valores registrados se muestran en la figura 85.

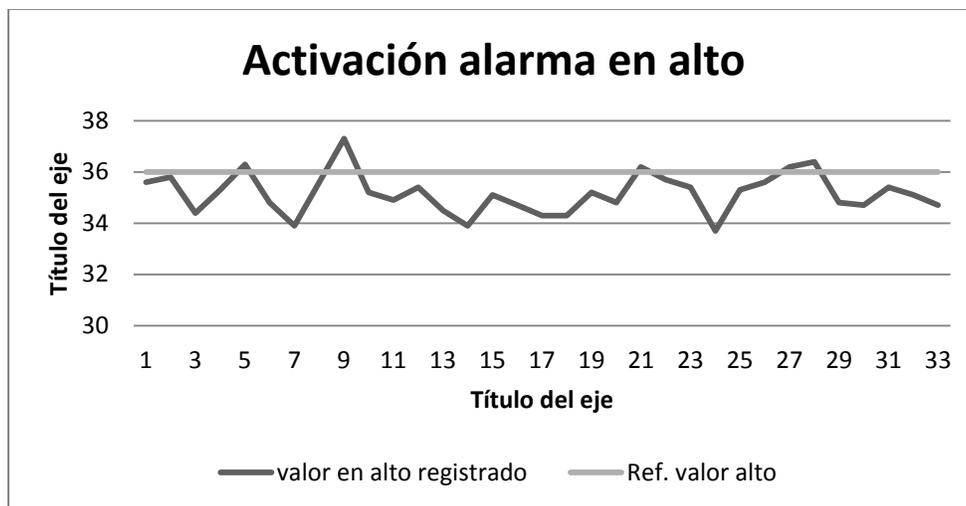


Figura 85. Grafica activación de alarma en alto, Fuente: Propia

El promedio de los datos registrados en esta tabla de activación de alarma en nivel alto con el dispositivo esclavo 2 funcionando es de 35,16 centímetros. Ya obtenido este valor se procede a hallar el error absoluto y el error relativo.

Aplicando fórmula de error absoluto:

$$\text{Error Absoluto} = |36 - 35,16|$$

$$\text{Error Absoluto} = 0,84$$

Aplicando formula de error relativo:

$$\text{Error Relativo} = \frac{0,85}{36} * 100$$

$$\text{Error Relativo} = 2,33\%$$

Conociendo la media que es de 35,16 se procede a hallar la varianza por medio de la fórmula:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Dónde:

- $(X_i - \bar{x})^2 = a$
- $n - 1 = 32$

- $a = (0,434)^2 + (0,634)^2 + (-0,766)^2 + (0,134)^2 + (1,134)^2 + (-0,366)^2 + (-1,266)^2 + (0,434)^2 + (2,134)^2 + (0,034)^2 + (-0,266)^2 + 0,234)^2 + (-0,666)^2 + (-1,266)^2 + (-0,066)^2 + (-0,466)^2 + (-0,866)^2 + (-0,866)^2 + (0,034)^2 + (-0,366)^2 + (1,034)^2 + (0,534)^2 + (0,234)^2 + (-1,466)^2 + (0,134)^2 + (0,434)^2 + (1,034)^2 + (1,234)^2 + (-0,366)^2 + (-0,466)^2 + (0,234)^2 + (-0,066)^2 + (-0,466)^2$

Entonces

$$S^2 = \frac{19,973}{32}$$

$$S^2 = 0,624$$

Obteniendo el valor de la varianza se aplica la fórmula para hallar la desviación estándar:

$$S = \sqrt{s^2}$$

$$S = \sqrt{0,624}$$

$$S = 0,78$$

Este resultado de la desviación estándar indica que los datos registrados tienen una dispersión de 1,51 con respecto a la media.

Finalmente se registran los datos obtenidos por el dispositivo esclavo 2 en la tabla 22.

Tabla 22. Datos dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia

	<b>Error absoluto</b>	<b>Error relativo</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>Nivel bajo</b>	0,85	3,86%	2,30	1,51
<b>Nivel alto</b>	0,84	2,33%	0,624	0,78
<b>Promedio</b>	0,845	3,09%	1,462	1,14

## 6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- Para la comunicación remota se decidió trabajar con módulos de comunicación inalámbrica, los cuales permitieron implementar dispositivos fáciles de instalar, ya que son portables y se pueden ajustar a los demás estanques de levante y engorde de peces en la estación piscícola SAN ROQUE.
- El sistema implementado cumplió con los requerimientos pedidos por la asociación de piscicultores de Sotara Cauca, siendo un sistema inalámbrico modular y de fácil instalación.
- El funcionamiento del sistema implementado fue el esperado por la asociación de piscicultores de Sotara Cauca, ya que ayuda a prevenir el deceso del producto que comercializa.
- Se logra diseñar e implementar una red de campo basada en el protocolo Modbus, el sistema cuenta con la comunicación industrial de forma maestro/esclavo.
- Luego de realizar una serie de pruebas de tiempo para cada dispositivo esclavo, se determinó que el tiempo de respuesta del esclavo 2 es superior al del esclavo 1. Para determinar la causa de ello se realizaron pruebas con los dos dispositivos a las mismas distancias e intercambiando los componentes entre los dispositivos para determinar por qué sucedía esto, de lo cual se concluyó que podría ser por el material utilizado para el caparazón del esclavo 2.

- Se verifico que la sirena utilizada como alarma del sistema es capaz de escucharse en toda la zona de la estación piscícola San Roque.
- No se percibió ningún cambio del comportamiento de los peces cuando se instalaron los sensores de nivel en los estanques.
- Las ondas en el agua del estanque generadas por la corriente de agua que alimenta los estanques presentó una mínima variación en la medición del nivel del agua, esto se puede confirmar con los datos registrados en la tabla 2 del anexo 3, con un promedio de error absoluto de: 0.7 para el dispositivo esclavo 1 y 0.84 para dispositivo esclavo 2.
- Es un dispositivo escalable y se puede utilizar en diferentes estaciones piscícolas por su modularidad.

## **6.2. Recomendaciones**

- Para no detener el sistema cuando las baterías de los dispositivos esclavos se hayan descargado, se recomienda implementar un sistema de carga con paneles solares, aprovechando la energía solar y brindando una carga continua.
- Para lograr un óptimo funcionamiento y no tener fallas en la comunicación entre los dispositivos maestro y esclavo, se recomienda encender primero los dispositivos esclavos y posterior a esto encender el módulo maestro.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] [En línea]. Available: [http://www.fedeacua.org/assets/uploads/files/7436a-PRODUCCION-ACUICOLA-2004\\_2014\\_V2.pdf](http://www.fedeacua.org/assets/uploads/files/7436a-PRODUCCION-ACUICOLA-2004_2014_V2.pdf). [ultimo acceso: 10 de octubre de 2016]
  
- [2] FEDEACUA, «Minagricultura,» 23 02 2016. [En línea]. Available: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/colombia-se-afianza-como-exportador-de-trucha-y-tilapia.aspx>. [ultimo acceso: 12 de junio de 2017]
  
- [3] National Instruments, «National Instruments,» 10 2014. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/52134/es/>. [ultimo acceso: 12 de junio de 2017]
  
- [4] Weg, «Weg,» 12 2012. [En línea]. Available: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-srw01-manual-de-la-comunicacion-modbus-rtu-10000521680-4.0x-manual-espanol.pdf>. [ultimo acceso: 10 de octubre de 2016]
  
- [5] Modbus, «Modbus,» 12 2006. [En línea]. Available: [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf). [ultimo acceso: 10 de octubre de 2016]
  
- [6] M. Tarhan , F. De la Cruz y M. Diaz Granados , «Implementacion de Tecnologia Zigbee en una Red Modbus para Aplicaciones Inalambricas en Automatizacion Industrial,» Barquisimeto, Venezuela, 2015.
  
- [7] Jvsoto, «Jvsoto,» 23 03 2016. [En línea]. Available: <http://jvsoto.com/domotica-1-la-idea/>. [ultimo acceso: 10 de octubre de 2016]
  
- [8] F. Pascual y M. Perez, «centro integrado politecnico ETI,» [En línea]. Available: <http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/5modbus.pdf>. [ultimo acceso: 13 de junio de 2017]
  
- [9] A. F. Ruiz Olaya, *Implementacion de una red Modbus/TCP*, santiago de cali, Valle, 2002, p. 108.

- [10] RTA automtion, «rtaautomation,» [En línea]. Available: <http://www.rtaautomation.com/technologies/modbus-rtu/>. [ultimo acceso: 10 de octubre de 2016]
- [11] E. Lopez perez, «electronica60norte,» [En línea]. Available: <http://www.electronica60norte.com/mwfls/pdf/rs-485.pdf>. [ultimo acceso: 13 de junio de 2017]
- [12] A. Creus, *Instrumentacion Industrial*, 6a ed., 1997.
- [13] J. Mayne, *Estado atual de las comunicaciones inalambricas*, 2005.
- [14] C. Lopez Arancibia y C. Cofre Vasquez, «departamento de electronica,» 7 2012. [En línea]. Available: <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s12/project/reports/LopezCofre/BLUETOOTH.pdf>. [ultimo acceso: 10 de octubre de 2016]
- [15] «i+d electronica,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/bluetooth/bluetooth-v40-ble-cc41-a-detail>. [ultimo acceso: 10 de octubre de 2016]
- [16] «i+d electronica,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/bluetooth/modulo-bluetooth-blk-md-bc04-b-detail>. [ultimo acceso: 10 de octubre de 2016]
- [17] «i+d electronica,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/bluetooth/modulo-bluetooth-40-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [18] «i+d electronica,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/bluetooth/modulo-bluetooth-bluesmirf-rn41sm-detail>. [ultimo acceso: 10 de octubre de 2016]
- [19] N. Velasco Martos, *Sistema embebido para la conexión de un PLC siemens S7-200 a la red GSM*, sevilla, 2005.
- [20] «i+d electronics,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/gsm/gprs-shield-v30-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]

- [21] «i+d electronics,» [En línea]. Available:  
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/gsm/adaptador-usb-modulo-ug95-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [22] «i+d electronics,» [En línea]. Available:  
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/gsm/3g-click-tarjeta-mikroe-2296-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [23] «i+d electronics,» [En línea]. Available:  
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/gsm/gsm-3-click-sms-mikroe-1720-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [24] «i+d electronics,» [En línea]. Available:  
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/tarjeta-de-desarrollo-linkit-smart-7688-duo-102110017-mt7688-atmega32u4-wifi-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [25] «i+d electronics,» [En línea]. Available:  
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/wifi/modulo-wifi-esp8266-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [26] «i+d electronics,» [En línea]. Available:  
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/modulo-wifi-serial-esp-14-esp8266-esp14-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [27] «i+d electronics,» [En línea]. Available:  
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/wi-fi/wifi-4-click-tarjeta-mikrobus-mikroe-1913-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [28] «i+d electronics,» [En línea]. Available:  
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/otros-rf/lora-rf-click-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [29] «i+d electronics,» [En línea]. Available:  
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/otros-rf/wireless-transceiver-434mhz-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]

- [30] «i+d electronics,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/otros-rf/enocean-click-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [31] «i+d electronics,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/pareja-transmisor-receptor-rf-433mhz-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [32] Xbee, «xbee,» [En línea]. Available: <http://xbee.cl/que-es-xbee/>. [ultimo acceso: 9 de mayo de 2017]
- [33] «i+d electronics,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/zigbee/modulos/modulo-xbee-24ghz-serie1-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [34] «i+d electronics,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/zigbee/modulos/modulo-xbee-24ghz-serie2-2-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [35] «i+d electronics,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/zigbee/modulos/modulo-xbee-pro-serie1-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [36] «i+d electronics,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/zigbee/modulos/xbee-pro-serie-2b-con-antena-en-board-pcb-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [37] «i+d electronics,» [En línea]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/zigbee/modulos/m%C3%B3dulo-xbee-zb-s2c-3444-detail>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [38] «procolombia,» [En línea]. Available: <http://www.procolombia.co/node/1240>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [39] M. C. Merino Archila, G. Salazar Ariza y D. Gomez Leon, *Guia practica de piscicultura en colombia*, Bogota, 2006.

- [40] «acuasoara.blogspot,» 29 septiembre 2009. [En línea]. Available: <http://acuasotara.blogspot.com.co/2009/09/asociacion-de-piscicultores-de-sotara.html>. [ultimo acceso: 6 de mayo de 2017]
- [41] «ecadigitaliiequipo,» [En línea]. Available: <https://ecadigitaliiequipo7.wordpress.com/2010/03/08/dispositivos-logicos-programables-pld/>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [42] «arduino,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [43] «google imagenes,» [En línea]. Available: [https://www.google.com/search?q=arduino&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiv9bC\\_zpLRAhWCPCYKHd6cB-EQ\\_AUICCGb&biw=1366&bih=662#tbm=isch&q=arduino+logo&imgcr=5edeDPDKU2cEM%3A](https://www.google.com/search?q=arduino&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiv9bC_zpLRAhWCPCYKHd6cB-EQ_AUICCGb&biw=1366&bih=662#tbm=isch&q=arduino+logo&imgcr=5edeDPDKU2cEM%3A). [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [44] «raspberrypi,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>. [ultimo acceso: 14 de junio de 2017]
- [45] «google imagenes,» [En línea]. Available: [https://www.google.com/search?q=raspberrypi&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjksK\\_hz5LRAhXC8CYKH WpwDX4Q\\_AUICCGD#tbm=isch&q=raspberrypi+logo&imgcr=T4-KH78rjj71hM%3A](https://www.google.com/search?q=raspberrypi&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjksK_hz5LRAhXC8CYKH WpwDX4Q_AUICCGD#tbm=isch&q=raspberrypi+logo&imgcr=T4-KH78rjj71hM%3A). [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [46] «beagleboard,» [En línea]. Available: <http://beagleboard.org/bone>. [ultimo acceso: 14 de junio de 2017]
- [47] «google imagenes,» [En línea]. Available: [https://www.google.com/search?q=beaglebone&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiHzsu-1JLRAhVFSyYKHaDqAYsQ\\_AUIBigB#tbm=isch&q=beaglebone+LOGO&imgcr=8aibYVQdiGW3sM%3A](https://www.google.com/search?q=beaglebone&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiHzsu-1JLRAhVFSyYKHaDqAYsQ_AUIBigB#tbm=isch&q=beaglebone+LOGO&imgcr=8aibYVQdiGW3sM%3A). [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [48] «microchip,» [En línea]. Available: <http://www.microchip.com/>. [ultimo acceso: 14 de junio de 2017]
- [49] «google imagenes,» [En línea]. Available: [https://www.google.com/search?q=MICROCONTROLADORES+MICROCHIP&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwif9md1ZLRAhWB4SYKHZS0B9EQ\\_AUIBigB#tbm=isch&q=MICROCHIP+LOGO&imgcr=yBGBUet19gxVOM%3A](https://www.google.com/search?q=MICROCONTROLADORES+MICROCHIP&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwif9md1ZLRAhWB4SYKHZS0B9EQ_AUIBigB#tbm=isch&q=MICROCHIP+LOGO&imgcr=yBGBUet19gxVOM%3A). [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]

- [50] «orange pi,» [En línea]. Available: <http://www.orange-pi.org/>. [ultimo acceso: 14 de junio de 2017]
- [51] «google imagenes,» [En línea]. Available: [https://www.google.com/search?q=orange+pi&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiVwN\\_I1pLRAhXG2SYKHR-GAHQQ\\_AUICCGD#tbn=isch&q=orange+pi+logo&imgsrc=m\\_KEK1ulsY\\_03M%3A](https://www.google.com/search?q=orange+pi&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiVwN_I1pLRAhXG2SYKHR-GAHQQ_AUICCGD#tbn=isch&q=orange+pi+logo&imgsrc=m_KEK1ulsY_03M%3A). [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [52] «hobbytronics,» [En línea]. Available: <http://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/TIP31.pdf>. [ultimo acceso: 6 de marzo de 2017]
- [53] texas instruments, «texas instruments,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn75176a.pdf>. [ultimo acceso: 26 de marzo de 2017] [ultimo acceso: 7 de abril de 2017]
- [54] «ingeniería de sistema y automática umh,» [En línea]. Available: <http://isa.umh.es/asignaturas/sea/practicas2C/P7/practica7.pdf>. [ultimo acceso: 9 de mayo de 2017]
- [55] «aprendiendo arduino desde cero,» 22 noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.arduino-tutoriales.com/que-es-un-divisor-de-voltaje>. [ultimo acceso: 9 de mayo de 2017]
- [56] xbee, «xbee,» [En línea]. Available: <http://xbee.cl/xbee-pro-63mw-wire-antenna/>. [ultimo acceso: 9 de mayo de 2017]
- [57] «i+d electronics,» [En línea]. Available: <http://www.didacticas-electronicas.com/index.php/comunicaciones/zigbee/programadores-conversores/unidad-regulada-para-modulos-xbee-detail>. [ultimo acceso: 17 de abril de 2017]
- [58] «google imagenes,» [En línea]. Available: [https://www.google.com/search?q=sirena+12v+15w&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjO-eSb5ejPAhWF7iYKHSMRCUMQ\\_AUIBigB#imgsrc=rtu5et-FMjf7EM%3A](https://www.google.com/search?q=sirena+12v+15w&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjO-eSb5ejPAhWF7iYKHSMRCUMQ_AUIBigB#imgsrc=rtu5et-FMjf7EM%3A). [ultimo acceso: 18 de octubre de 2016]
- [59] microchip, «microchip,» 2009. [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>. [ultimo

acceso: 18 de octubre de 2016]

- [60] «mayortec,» [En línea]. Available:  
[http://www.mayortec.mx/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/c/a/cargador\\_pared\\_1.jpg](http://www.mayortec.mx/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/c/a/cargador_pared_1.jpg). [ultimo acceso: 9 de mayo de 2017

## 8. ANEXOS

### 8.1. Anexo 1. Elementos de medición de nivel

#### 8.1.1. Instrumentos de medida directa

A continuación se describen los instrumentos de medición directa:

##### 8.1.1.1. Medidor de sonda

Consiste en una varilla o regla graduada, de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza generalmente en tanques de fuel-oil o de gasolina, en la siguiente figura se observa el medidor de sonda [12].

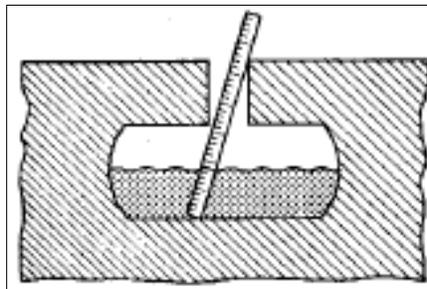


Figura 86. Medidor de sonda Varilla, Fuente [12]

##### 8.1.1.2. Medidor de cinta Y plomada

El medidor de cinta graduada y plomada representado en la Figura 87, que se emplea cuando es difícil que la regla graduada tenga acceso al fondo del tanque [12].

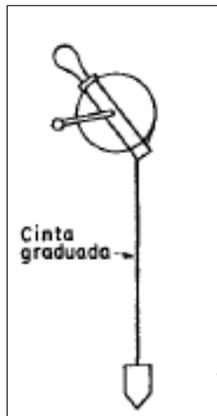


Figura 87. Medidor cinta y plomada, Fuente: [12]

### 8.1.1.3. Nivel de cristal

El nivel de cristal consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al tanque generalmente mediante tres válvulas, dos de cierre y de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido en caso de rotura del cristal y una de purga [12].

Existen dos tipos de medidores de cristal, el nivel de cristal normal que se emplea para presiones hasta 7 Bar (unidad de presión) este se observa en la Figura 88-A. A presiones más elevadas el cristal es grueso, de sección rectangular y está protegido por una armadura metálica, este se observa en la Figura 88-B [12].

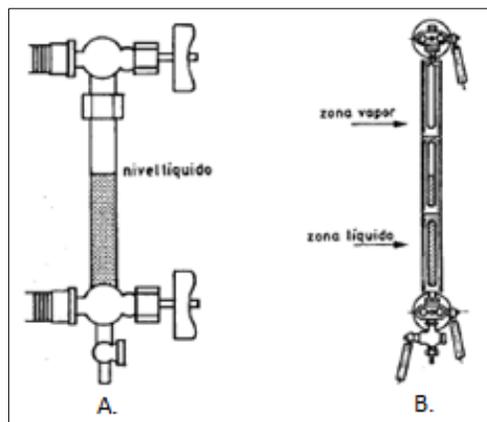


Figura 88. Medidor cristal: normal: A, con armadura: B, Fuente: [12]

#### 8.1.1.4. Medidores de flotador

Consisten en un flotador situado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque indicando directamente el nivel. La conexión puede ser directa, hidráulica [12].

El flotador conectado directamente está unido por un cable que desliza en un juego de poleas a un índice exterior que señala sobre una escala graduada. Es el modelo más antiguo y el más utilizado en tanques de gran capacidad tales como los de fuel-oíl y gas-oíl. Tiene el inconveniente de que las partes móviles están expuestas al fluido y pueden romperse y de que el tanque no pueda estar sometido a presión. Además, el flotador debe estar limpio, en la Figura 89 se observa el flotador de conexión directa. [12]

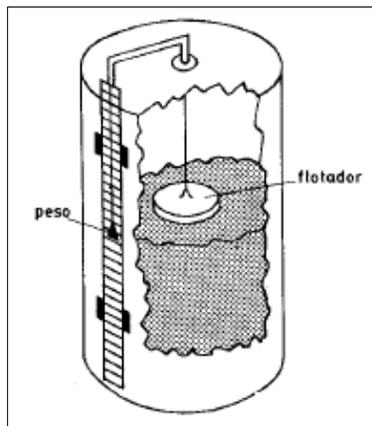


Figura 89. Medidor flotador de conexión directa, Fuente: [12]

El flotador acoplado hidráulicamente actúa en su movimiento sobre un fuelle de tal modo, que varía la presión de un circuito hidráulico y señala a distancia en el receptor el nivel correspondiente. Permite distancias de transmisión de hasta 75 metros y puede emplearse en tanques cerrados. Sin embargo, requiere de una instalación y calibración complicadas y posee partes móviles en el interior del tanque, en la Figura 90, se observa el flotador acoplado hidráulicamente [12].

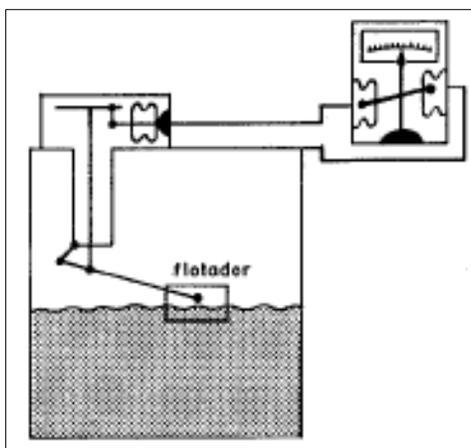


Figura 90. Medidor flotador acoplado hidráulicamente, Fuente: [12]

Hay que señalar que en estos instrumentos, el flotador puede tener formas muy variadas y estar formado por materiales muy diversos según sea el tipo de fluido [12].

### 8.1.2. Instrumentos basados en la presión hidrostática

A continuación se describen los instrumentos basados en la presión hidrostática:

#### 8.1.2.1. Medidor Manométrico

Consiste en un manómetro conectado directamente a la parte inferior del tanque. En la Figura 91 se puede observar un instrumento de este tipo en el que se observaran varios accesorios como son una válvula de cierre para mantenimiento, y un pote de decantación con una válvula de purga. El manómetro mide la presión debida a la altura del líquido  $h$  que existe entre el nivel del tanque y el eje del instrumento [12].

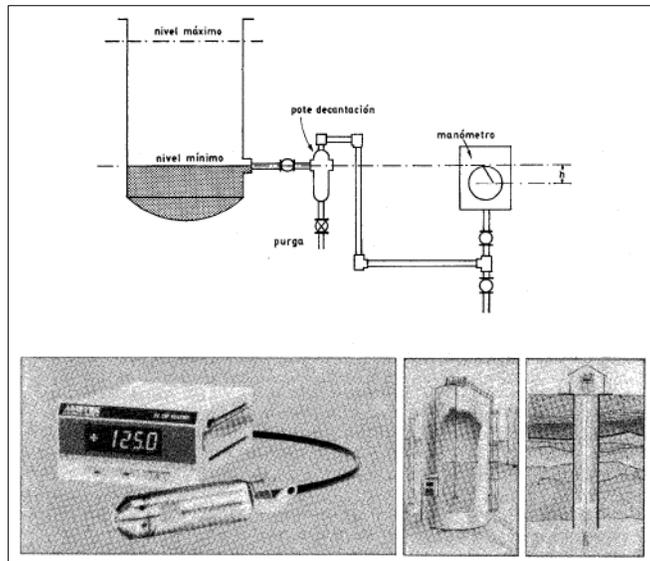


Figura 91. Medidor manométrico, Fuente: [12]

Como las alturas son limitadas, el campo de medida es bastante pequeño, de modo que el manómetro utilizado tiene un elemento de medida del tipo fuelle [12].

#### 8.1.2.2. Medidor de tipo burbujeo

Este emplea un tubo sumergido en el líquido a cuyo través se hace burbujear aire mediante un rotámetro con un regulador de caudal incorporado. La presión del aire en la tubería equivale a la presión hidrostática ejercida por la columna del líquido, es decir, al nivel. El regulador de caudal permite mantener un caudal de aire constante a través del líquido independientemente del nivel (es normal un caudal de 150 NI/h); si no existiera, habría una gran diferencia en los caudales de aire necesarios desde el nivel mínimo al máximo, con el inconveniente de un gasto de aire indebido. La tubería empleada suele ser de ½" con el extremo biselado para una fácil formación de las tuberías de aire. Una tubería de menor diámetro tipo capilar reduciría el tiempo de respuesta pero produciría un error en la medida provocado por la pérdida de carga del tubo ver figura 92-A [12].

El sistema puede emplearse también en tanques cerrados como se muestra en la Figura 92-B con dos juegos rotámetro-regulador y con las señales de aire conectadas a un transmisor de presión diferencial análogo. Como es lógico, la presión del aire de purga debe ser superior a la presión interna del tanque [12].

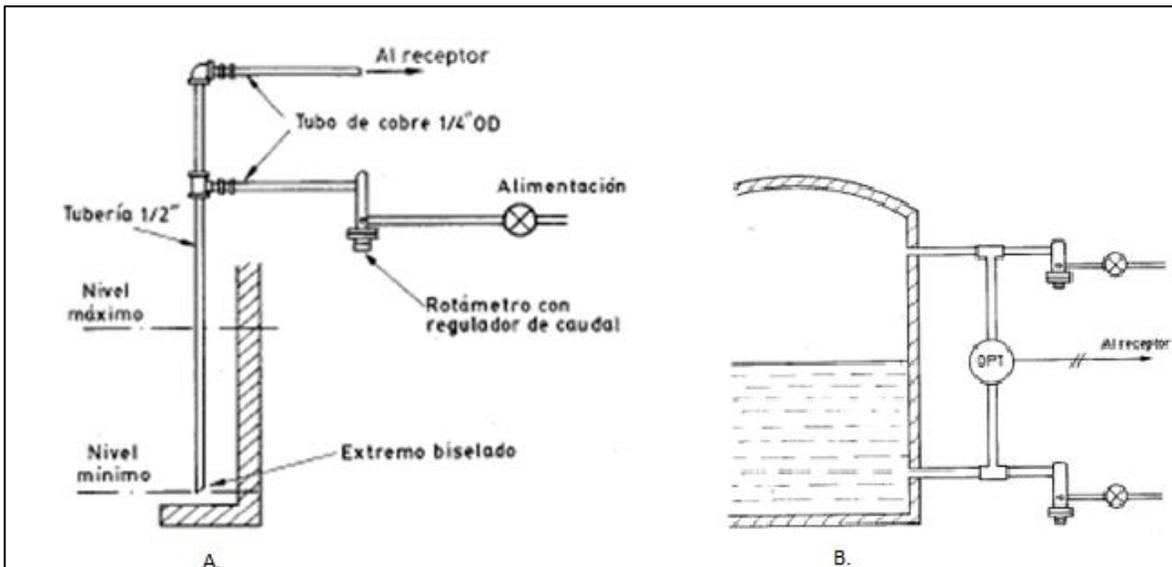


Figura 92. Medidor tipo burbujeo tanque: abierto: A, Cerrado: B Fuente: [12]

### 8.1.2.3. Medidor de presión diferencial

Consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. En un tanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico, este se observa en la Figura 93 [12].

El diafragma forma parte de un transmisor neumático, electrónico o digital de presión diferencial semejante a los transmisores de caudal de diafragma [12].

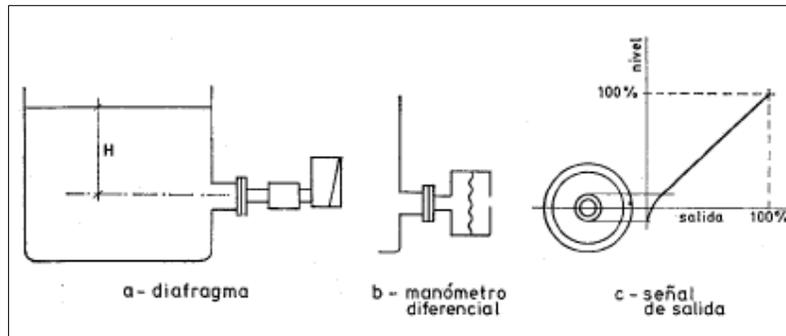


Figura 93. Medidor de diafragma, Fuente: [12]

En el caso de que el tanque este cerrado y bajo presión, hay que corregir la indicación del aparato para la presión ejercida el líquido debiendo señalar que la lectura será muy poco precisa, si la precisión es grande se suele conectar un tubo en la parte superior del tanque y medir la diferencia de presiones entre la toma inferior y la superior, utilizando transmisores de presión diferencial de diafragma tal como los representados en la figura 94 [12].

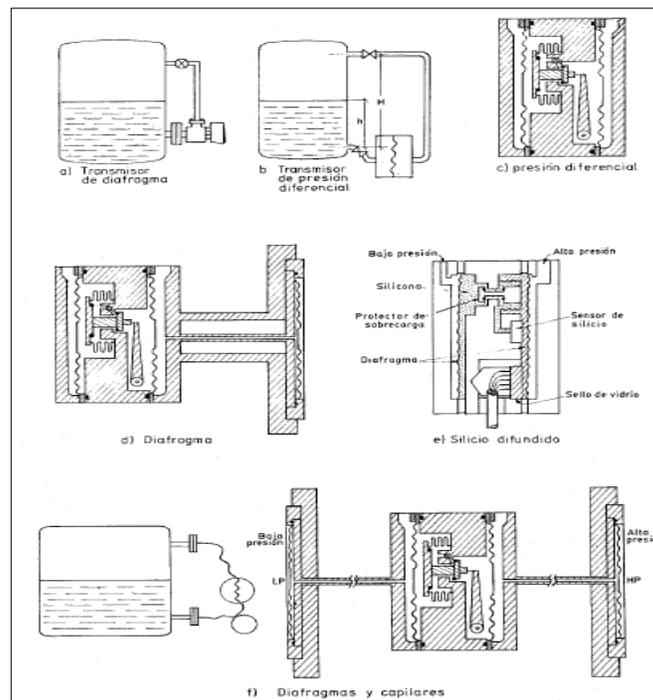


Figura 94. Medidores de presión diferencial en tanque cerrado, Fuente: [12]

En tanques cerrados y a presión con líquido de vapor condensable existe el riesgo de obturación e la línea de compensación, en particular si el fluido no es limpio. Para evitarlo puede purgarse la línea con líquido o gas, método que no se recomienda por los problemas de mantenimiento y la pérdida de precisión que presenta, o bien emplear un transmisor de presión diferencial unido con dos capilares a dos diafragmas conectados en la parte inferior y superior del tanque [12].

### **8.1.3. Instrumentos basados en el desplazamiento**

El medidor de nivel de tipo desplazamiento Figura 95 consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión unido rígidamente al tanque. Dentro del tubo y unido a su extremo libre se encuentra una varilla que transmite el movimiento de giro a un transmisor exterior al tanque [12].

El tubo de torsión se caracteriza fundamentalmente porque el Angulo de rotación de su extremo libre es directamente proporcional a la fuerza aplicada, es decir, al momento ejercido por el flotador. El movimiento angular del extremo libre del tubo de torsión es muy pequeño, del orden de los  $9^\circ$ . El tubo proporciona además un cierre estanco entre el flotador y el exterior del tanque (donde se dispone el instrumento receptor del par transmitido) [12].

Al aumentar el nivel, el líquido ejerce un empuje sobre el flotador igual a volumen de la parte sumergida multiplicada por la densidad del líquido, tendiendo a neutralizar su peso propio, así que el esfuerzo medido por el tubo de torsión será pequeño. Por el contrario, al bajar el nivel, menor parte del flotador queda sumergida, y fuerza de empuje hacia arriba disminuyendo, resultando una mayor torsión [12].

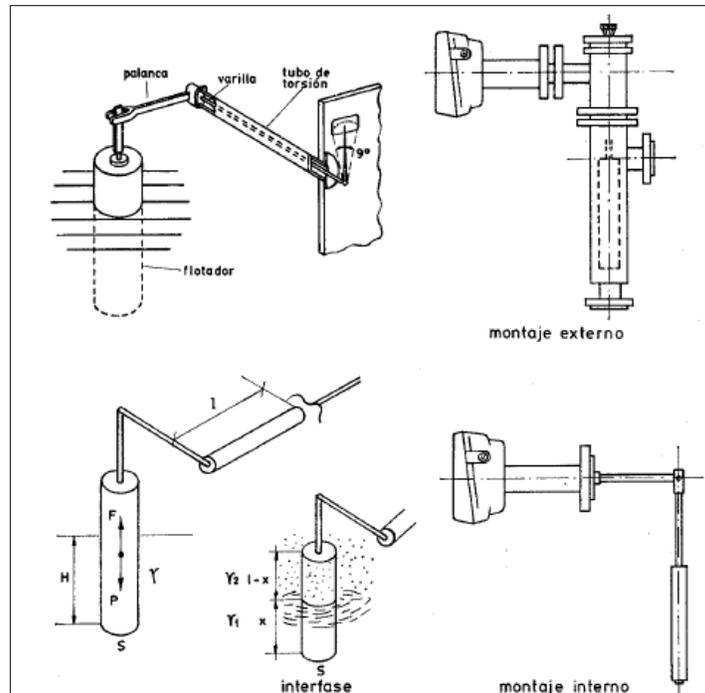


Figura 95. Medidor de nivel de desplazamiento, Fuente: [12]

El instrumento puede utilizarse también en la medida de interfaz entre los líquidos inmiscibles de distinta densidad (por ejemplo, agua y aceite). En este caso el flotador es de pequeño diámetro y de gran longitud y está totalmente sumergido. El peso del volumen desplazado por el flotador, es decir, el empuje, se compone entonces de dos partes, del líquido más denso en la parte inferior y del menos denso en la superior, con una línea de separación (interfaz) de la que depende el par de torsión proporcionado al transmisor exterior [12].

El movimiento de brazo de torsión puede transmitirse por medio de un eslabón a un transmisor neumático o electrónico de equilibrio de fuerzas, o digital (sensor de efecto hall en el que al estar una paca o cinta de conductor o semiconductor recorrida por una corriente, dentro de un campo magnético perpendicular, se genera una f.e.m. perpendicular a la vez a la intensidad de la corriente y al flujo del campo magnético), permitiendo en la conexión una compensación mecánica o digital para el peso específico del líquido [12].

El instrumento puede utilizarse en tanques abiertos y cerrados a presión o a vacío, tiene una buena sensibilidad pero presenta el inconveniente del riesgo de depósito de sólidos o de crecimiento de cristales en el flotador que afectan a la precisión de la medida y es apto solo para la medida de pequeñas diferencias de nivel (200 mm máximo estándar). La medida de nivel de interfaces requiere flotadores de gran volumen. [12]

#### **8.1.4. Instrumentos basados en características eléctricas del líquido**

##### **8.1.4.1. Medidor de nivel conductivo o resistivo**

Consiste en uno o varios electrodos y un relé eléctrico o electrónico que es excitado cuando el líquido moja a dichos electrodos. El líquido debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el circuito electrónico, y de este modo el aparato puede discriminar la separación entre el líquido y su vapor. Tal como ocurre, por ejemplo, en el nivel de agua de una caldera de vapor. La impedancia mínima es del orden de los 20 M $\Omega$ /cm, y la tensión de alimentación es alterna para evitar fenómenos de oxidación en las sondas por causa del fenómeno de la electrolisis. Cuando el líquido moja los electrodos se cierra el circuito electrónico y circula una corriente segura del orden de los 2 mA; el relé electrónico dispone de un temporizador de retardo que impide su enclavamiento ante una ola del nivel del líquido o ante cualquier perturbación momentánea o bien en su lugar se disponen dos electrodos poco separados enclavados eléctricamente en el circuito, en la figura 96 se observa el medidor de nivel resistivo [12].

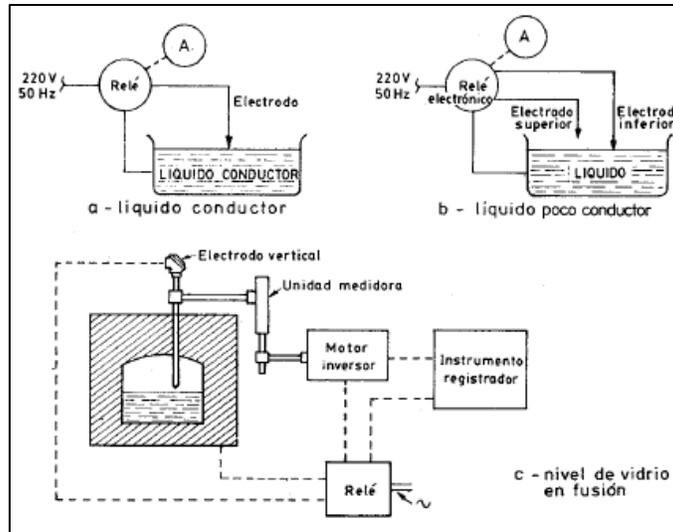


Figura 96. Medidor de nivel resistivo, Fuente: [12]

El instrumento se emplea como alarma o control de nivel alto bajo, utiliza relés eléctricos para líquidos con buena conductividad y relés electrónicos para líquidos con baja conductividad. Montado en grupos verticales de 24 o más electrodos, puede complementar los típicos niveles de vidrio de las calderas, y se presta a la transmisión de nivel a la sala de control y a la adición de las alarmas correspondientes [12].

#### 8.1.4.2. Medidor de capacidad

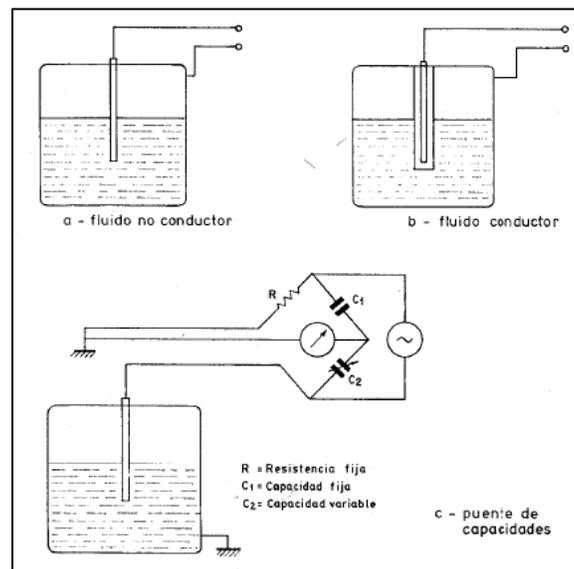
El medidor de capacidad figura 97 mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido [12].

En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal figura 97-a y la capacidad total del sistema compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores [12].

En fluidos conductores figura 97-b con una conductividad mínima de 100 microhmios/c.c. el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las

capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas [12].

El circuito electrónico (puente de capacidades, figura 97-c alimenta el electrodo a una frecuencia elevada, lo cual disminuye la reactancia capacitiva del conjunto y permite aliviar en parte el inconveniente del posible recubrimiento del electrodo por el producto [12].



**Figura 97. Medidor de capacidad, Fuente: [12]**

El sistema es sencillo y apto para muchas clases de líquidos. Sin embargo, hay que señalar que en los fluidos conductores, los sólidos o líquidos conductores que se encuentran en suspensión o emulsión, y las burbujas de aire o de vapor existente, aumentan y disminuyen respectivamente la constante dieléctrica del fluido dando lugar a un error máximo de 3 % por cada tanto por ciento de desplazamiento volumétrico. Por otro lado, al bajar el nivel, la porción aislante del electrodo puede quedar recubierta de líquido y la capacidad adicional que ello representa da lugar a un error considerable [12].

### 8.1.4.3. Sistema ultrasónico de medición de nivel

El sistema ultrasónico de medición de nivel figura 98 se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque [12].

Los sensores trabajan a una frecuencia de 20 kHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y reflejan en la superficie del sólido o del líquido [12].

En la figura 98 pueden verse varias disposiciones de montaje de los detectores que se utilizan en los casos de alarmas o de indicación continua del nivel [12].

En las aplicaciones de alarma de nivel los sensores vibran a una frecuencia de resonancia determinada, que se amortigua cuando el líquido de moja [12].

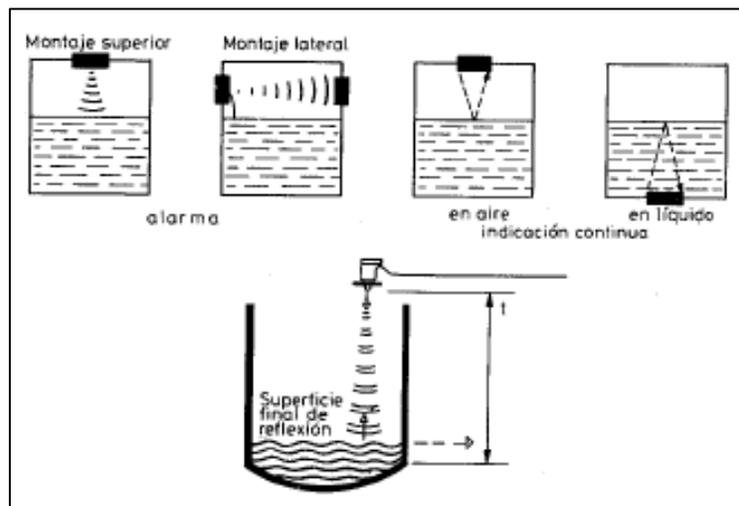


Figura 98. Transductor ultrasónico, Fuente: [12]

En el segundo caso de indicación continua de nivel, la fuente ultrasónica genera impulsos que son detectados por el receptor una vez ha transcurrido el tiempo

correspondiente de ida y de vuelta de la onda a la superficie del sólido o del líquido [12].

#### 8.1.4.4. Sistema por medición de rayos gamma

El sistema de medición por rayos gamma figura 99 consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del tanque y con un contador Geiger que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua. Como la transmisión de los rayos es inversamente proporcional a la masa del líquido en el tanque la radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del líquido ya que el material absorbe parte de la energía emitida [12].

Las paredes del tanque absorben parte de la radiación y al detector llega solo un pequeño porcentaje. Los detectores son, en general, tubos Geiger o detectores de cámara iónica y utilizan amplificadores de c.c. o de c.a. el instrumento dispone de compensación de temperatura, de linealización de la señal de salida y de reajuste de la pérdida de actividad de la fuente de radiación, extremo este último a tener en cuenta para conservar la misma precisión de la puesta en marcha. Como desventaja en su aplicación figuran el blindaje de la fuente y el cumplimiento de las leyes sobre protección [12].

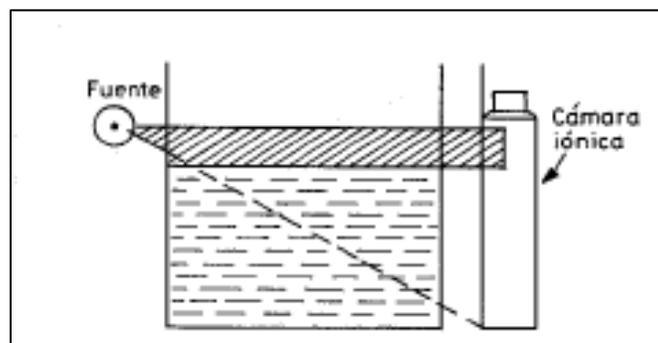


Figura 99. Medidor de nivel radiactivo, Fuente: [12]

El sistema se emplea en caso de medida de nivel en tanques de acceso difícil o peligroso. Es ventajoso cuando existen presiones elevadas en el interior del tanque que impiden el empleo de otros sistemas de medición. Hay que señalar que el sistema es caro y que la instalación no debe ofrecer peligro alguno de contaminación radiactiva siendo necesario señalar debidamente las áreas donde están instalados los instrumentos y realizar inspecciones periódicas de seguridad [12].

#### 8.1.4.5. Medidor de nivel laser

En aplicaciones donde las condiciones son muy duras, y donde los instrumentos de nivel convencionales fallan, encuentra su aplicación el medidor de nivel laser (y también el de radiación). Tal es el caso de la medición de metal fundido donde la medida del nivel debe realizarse sin contacto con el líquido y a la mayor distancia posible por existir unas condiciones de calor extremas. El sistema consiste en un rayo láser enviado a través de un tubo de acero y dirigido por reflexión en un espejo sobre la superficie del metal fundido. El aparato mide el tiempo que transcurre entre el impulso emitido y el impulso de retorno que es registrado en un fotodetector de alta resolución, y este tiempo es directamente proporcional a la distancia del aparato emisor a la superficie del metal fundido, ver figura 100 [12].

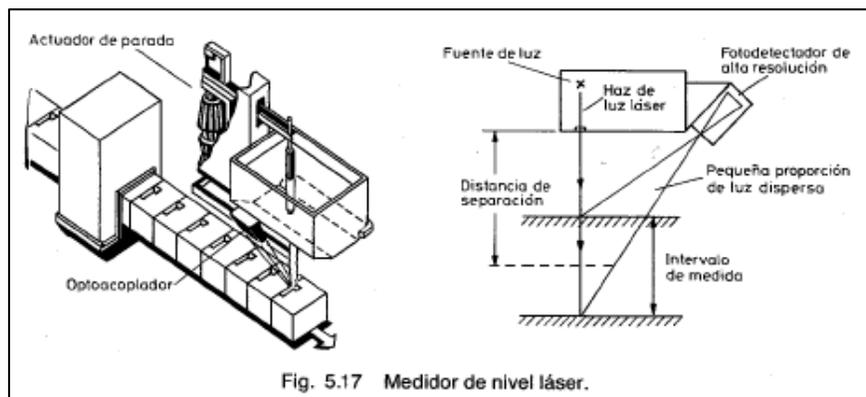


Figura 100. Medidor de nivel laser, Fuente: [12]

## 8.2. Anexo 2. Manual de usuario, ficha técnica y diagrama circuital de dispositivos

### 8.2.1. Manual de usuario

Dentro de este manual usted encontrara los pasos a seguir para realizar un correcto uso del sistema electrónico de monitoreo remoto y alarma.

1. Posicionar los dispositivos esclavos en los estanques a monitorear.
2. Para los estanques de la estación piscícola san roque se recomienda ajustar el sensor de nivel del dispositivo esclavo 1 en el orificio 7, asegurando la barra graduable al comienzo de la zona blanca, dejando la zona azul más amplia hacia arriba.
3. Para el dispositivo esclavo 2 se debe ajustar el sensor de nivel en el orificio 2 de la barra frontal.
4. Posicionar el dispositivo maestro en un lugar de preferencia, y posterior a esto instalar la sirena en la pared, esta debe ir atornillada.
5. Conectar el cargador del dispositivo maestro a un toma corriente.
6. Encienda los dispositivos esclavos.
7. Encienda el dispositivo maestro.
8. Seleccione el modo de trabajo
  - **Para modo de trabajo automático:** presionar el botón **ss2**
  - **Para modo de trabajo manual:** presionar el botón **ss1**
9. Si eligió modo de trabajo manual: seleccionar uno de los dos estanques a monitorear, tener presionado botón **TK1** para el estanque 1 o tener presionado el botón **TK2** para el estanque 2.
10. Verificar que la pantalla muestre el modo de trabajo en la primera fila, y en la segunda fila la etiqueta del estanque monitoreado y su estado correspondiente.
11. Cuando la alarma se active debe reiniciar el dispositivo maestro.

## 8.2.2. Ficha técnica de dispositivos

Tabla 23. Ficha técnica dispositivo esclavo 1, Fuente: Propia

FICHA TÉCNICA			
<b>Nombre del sistema</b>	Dispositivo esclavo 1		
<b>Imagen del sistema</b>	 <p>Figura 101. Dispositivo esclavo 1-ficha técnica, Fuente: Propia</p>		
<b>Descripción:</b>	Dispositivo portable complemento de sistema de monitoreo de nivel de agua, es de fácil instalación adaptable a varios estanques, este se encarga del sentido del nivel de agua.		
<b>Resistente a salpicadura de agua:</b>	si	<b>Voltaje de Operación:</b>	5 VDC
<b>Batería:</b>	Seca de 6 VDC-5000 mA	<b>% de error:</b>	2,6%
<b>portable:</b>	si	<b>Color:</b>	Azul.
<b>Comunicación inalámbrica:</b>	si	<b>Alarma:</b>	No
		<b>Notificación:</b>	Si, led rojo.
<b>Sensores:</b>	sensor de nivel de referencia: medidor de combustible de Toyota 2F Land Cruiser		
<b>Materiales:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lamina de acero inoxidable</li> <li>• Acrílico negro</li> <li>• Tubo estructural cuadrado en acero</li> </ul>		

Tabla 24. Ficha técnica dispositivo esclavo 2, Fuente: Propia

FICHA TÉCNICA			
<b>Nombre del sistema</b>	Dispositivo esclavo 2		
<b>Imagen del sistema</b>	 <p style="text-align: center;">Figura 102. Dispositivo esclavo 2-ficha técnica, Fuente: Propia</p>		
<b>Descripción:</b>	Dispositivo portable complemento de sistema de monitoreo de nivel de agua, es de fácil instalación adaptable a varios estanques, este se encarga del sensado del nivel de agua.		
<b>Resistente a salpicadura de agua:</b>	si	<b>Voltaje de Operación:</b>	5 VDC
<b>Batería:</b>	Seca de 6 VDC-5000 mA	<b>% de error:</b>	3.09%
<b>portable:</b>	si	<b>portable:</b>	si
<b>Comunicación inalámbrica:</b>	si	<b>Comunicación inalámbrica:</b>	si
<b>Sensores:</b>	sensor de nivel de referencia: medidor de combustible de Toyota 2F Land Cruiser		
<b>Materiales:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cilindro metálico</li> <li>• Acrílico negro</li> <li>• Tubo estructural cuadrado en acero</li> </ul>		

Tabla 25. Ficha técnica dispositivo maestro, Fuente: Propia

FICHA TÉCNICA			
<b>Nombre del sistema</b>	Dispositivo maestro		
<b>Imagen del sistema</b>	 <p style="text-align: center;">Figura 103. Dispositivo maestro-ficha técnica, Fuente: Propia</p>		
<b>Descripción:</b>	Dispositivo portable complemento de sistema de monitoreo de nivel de agua, es el encargado de coordinar el proceso, cuenta con sistema de interacción sencillo para el usuario.		
<b>Resistente a salpicadura de agua:</b>	no	<b>Voltaje de Operación:</b>	12 VDC 5 VDC
<b>Batería:</b>	no	<b>cargador</b>	Si de 12 VDC - 1000mA
<b>portable:</b>	si	<b>Color:</b>	negro
<b>Comunicación inalámbrica:</b>	si	<b>Alarma:</b>	si
		<b>Sensores:</b>	no
<b>Materiales:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acrílico negro</li> </ul>		

### 8.2.3. Diagrama circuital dispositivo maestro

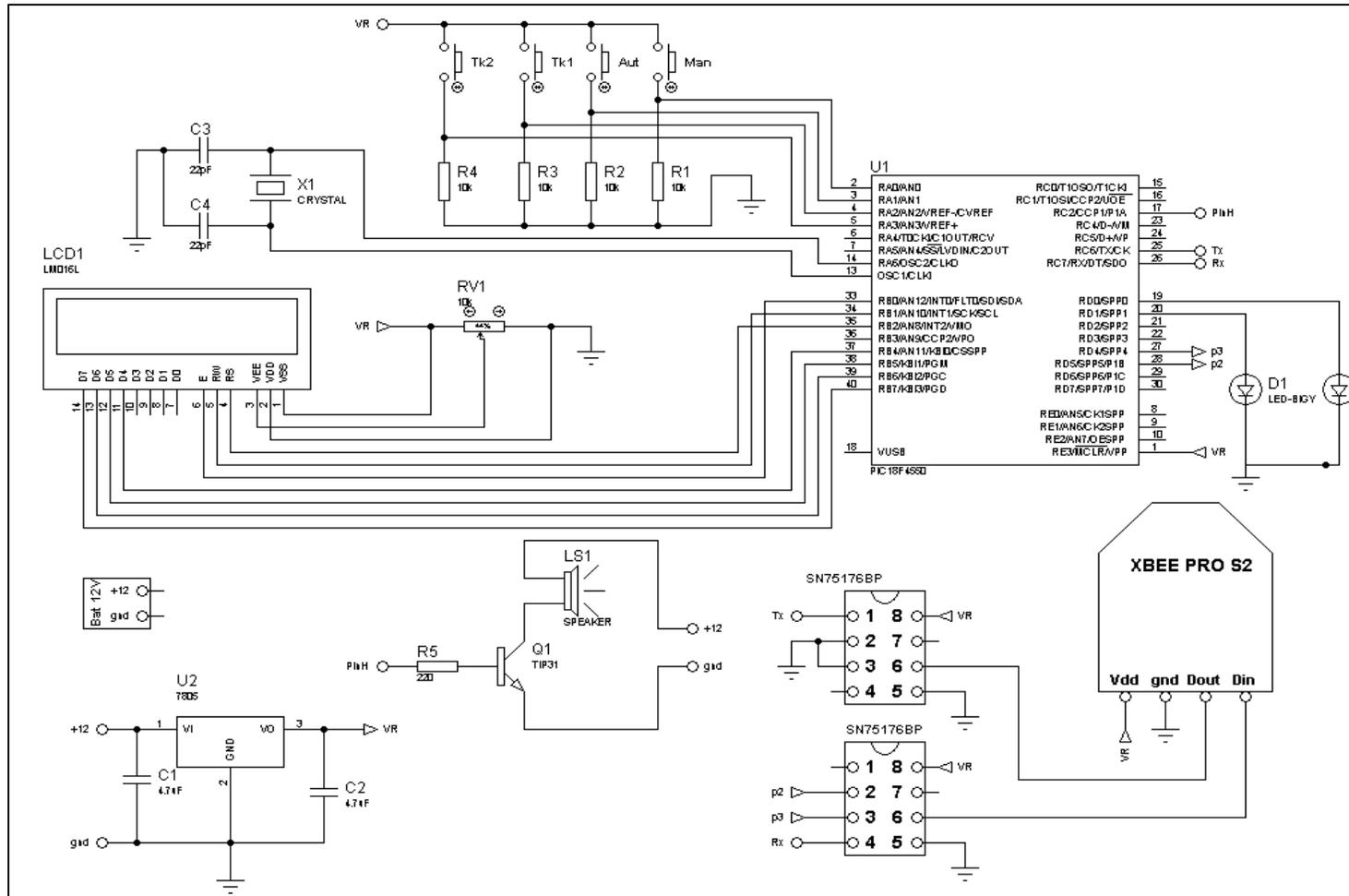


Figura 104. Diagrama circuital dispositivo maestro, Fuente: Propia

### 8.2.4. Diagrama circuital dispositivos esclavos

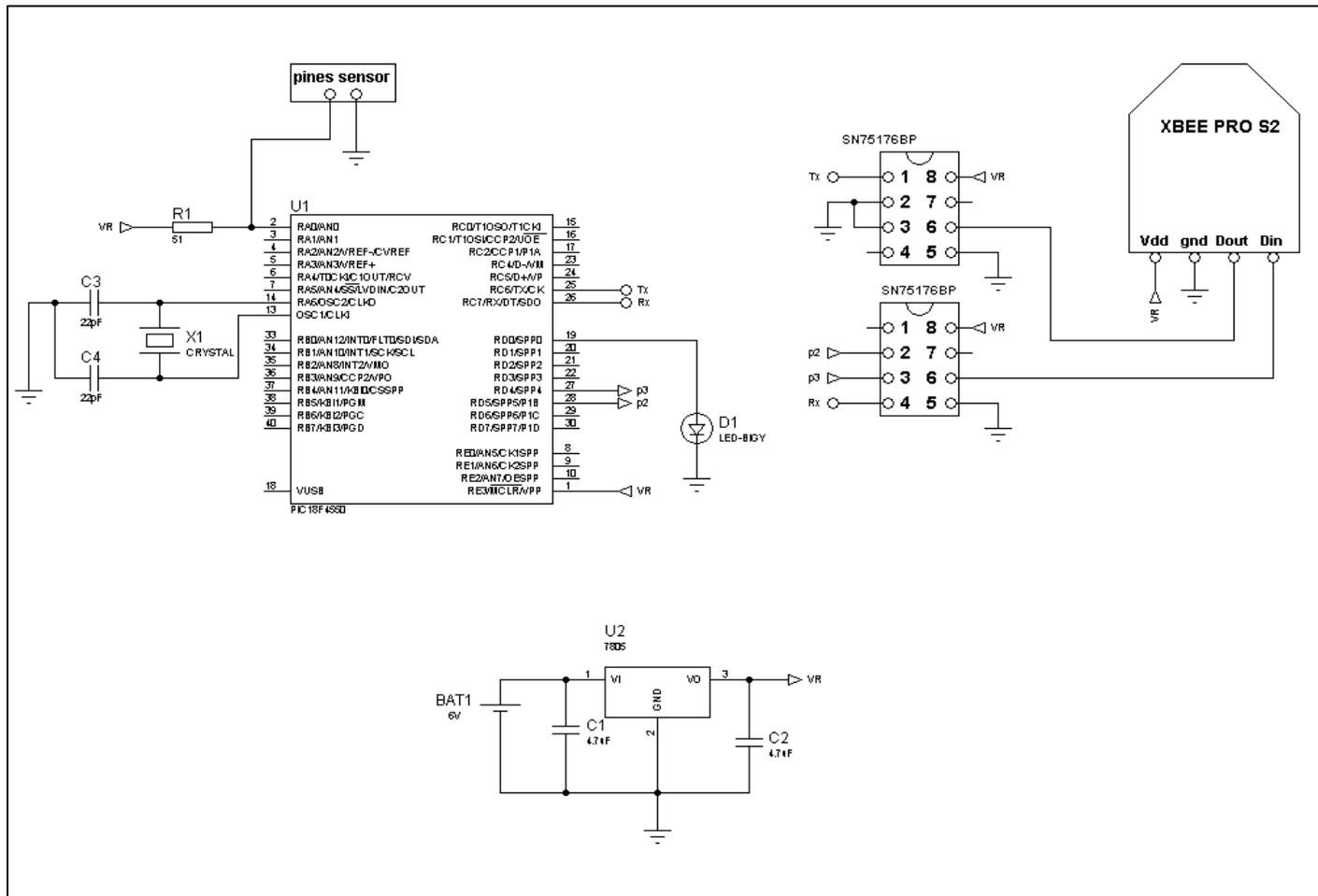


Figura 105. Diagrama circuital dispositivo esclavo, Fuente: Propia

### 8.3. Anexo 3. Tablas de pruebas y resultados

#### 8.3.1. Prueba 1

Se propone realizar la toma de datos para calcular el tiempo de respuesta de la alarma con cada dispositivo esclavo, estos se deben de registrar en las siguientes tablas

##### 8.3.1.1. Prueba 1.1.

Se toma el tiempo de respuesta del sistema cuando la antena de comunicación se encuentra por fuera de cada dispositivo. Estos datos se registran en la siguiente tabla:

Tabla 26. Tiempo de respuesta antena por fuera, Fuente: Propia.

No. Prueba	TIEMPO DE RESPUESTA DISP. ESCLAVO 1 (SEG)	TIEMPO DE RESPUESTA DISP. ESCLAVO 2 (SEG)
1	2,3	4,4
2	1.4	2
3	1.6	2,7
4	1.6	2,4
5	1.1	3,1
6	1.2	2,4
7	1.4	2,8
8	0.4	3,6
9	0.3	3,5
10	1.6	3,4
11	3	3,2

<b>12</b>	3.3	3
<b>13</b>	1.8	4,5
<b>14</b>	2.9	3,3
<b>15</b>	2.6	3,2
<b>16</b>	2.5	4,1
<b>17</b>	2.6	5
<b>18</b>	2.8	4,7
<b>19</b>	1	5,4
<b>20</b>	3.6	5,2
<b>21</b>	0.6	5,4
<b>22</b>	3.9	5
<b>23</b>	0.5	5,1
<b>24</b>	1.3	4,6
<b>25</b>	3	2,8
<b>26</b>	1.5	2,1
<b>27</b>	0.6	2,2
<b>28</b>	0.3	3,5
<b>39</b>	1.6	3,2
<b>30</b>	1.3	6
<b>31</b>	1.4	2,1
<b>32</b>	0.7	2,4

En promedio el tiempo de respuesta para la activación de la alarma con el dispositivo esclavo 1 es de 1,74 segundos y con el dispositivo esclavo 2 es de 3,63

### 8.3.1.2. Prueba 1.2.

Se toma el tiempo de respuesta del sistema cuando la antena de comunicación se encuentra dentro de cada dispositivo. Estos datos se registran en la siguiente tabla:

Tabla 27. Tiempo de respuesta con antena por dentro, Fuente: Propia.

<b>No. Prueba</b>	<b>TIEMPO DE RESPUESTA DISP. ESCLAVO 1 (SEG)</b>	<b>TIEMPO DE RESPUESTA DISP. ESCLAVO 2 (SEG)</b>
1	1,4	5.4
2	3,7	2.1
3	4,4	3.9
4	4,3	4.6
5	2,8	3.2
6	2,3	4
7	4,9	2.3
8	1	5.3
9	3,3	4.1
10	3,2	4.6
11	4,5	4.1
12	1,7	4
13	4,4	4.2
14	4	3.5
15	4,7	4.6
16	2,8	3.5
17	0,7	4.4
18	1,4	3.2
19	4,4	3.9
20	0,2	2.9

<b>21</b>	4	4.5
<b>22</b>	0,7	3.8
<b>23</b>	3,4	4.3
<b>24</b>	0	4.3
<b>25</b>	1	3.8
<b>26</b>	1	6.8
<b>27</b>	1,1	1.9
<b>28</b>	0,8	5.8
<b>39</b>	0,6	4.4
<b>30</b>	1,1	1.7
<b>31</b>	0,6	3.2
<b>32</b>	4,6	3

En promedio el tiempo de respuesta para la activación de la alarma con el dispositivo esclavo 1 es de 2,46 segundos y con el dispositivo esclavo 2 es de 3,91.

Tomando los valores promedio hallados se decide trabajar con la antena de comunicación dentro de cada dispositivo, esto se debe a que la diferencia de tiempo es muy pequeña, entonces no se considera un riesgo para el sistema, además de que la salida de la antena estará sellada evitando filtración de agua o suciedad.

### **8.3.2. Prueba 2**

Se propone realizar la toma datos del nivel de agua de los estanques cuando se encuentra en el punto de activación de la alarma en bajo y alto con cada dispositivo esclavo, se sabe que los estanques tienen una profundidad de 42 centímetros y de acuerdo al encargado de la estación piscícola SAN ROQUE se

considera que: es bajo cuando el nivel de agua está sobre los 22 centímetros respecto al estanque, y es alto cuando el nivel de agua está por encima de los 36 centímetros respecto al estanque, estos datos se deben de registrar en la siguiente tabla.

**Tabla 28. Valor de nivel medido con cada dispositivo esclavo, Fuente: Propia**

<b>No. prueba</b>	<b>Valor (Cm) bajo Disp. Esclavo 1</b>	<b>Valor (Cm) alto Disp. Esclavo 1</b>	<b>Valor (Cm) bajo Disp. Esclavo 2</b>	<b>Valor (Cm) alto Disp. Esclavo 2</b>
1	21,4	37,2	20,2	35,6
2	22,3	37,8	21,7	35,8
3	22,8	36,8	21,2	34,4
4	23,5	36,5	20,7	35,3
5	21,5	36,7	22,3	36,3
6	21,7	37,2	22,1	34,8
7	22,6	35,7	21,3	33,9
8	22,9	35,4	20,5	35,6
9	24,1	36,5	23,2	37,3
10	22,7	36,8	19,6	35,2
11	23,3	36,6	20,5	34,9
12	21,3	37,2	20,9	35,4
13	21,8	36,3	21,2	34,5
14	21,7	35,7	21,9	33,9
15	24,2	35,2	21,3	35,1
16	22,6	34,8	20,5	34,7
17	22,4	35,5	14,6	34,3
18	22,8	36,2	19,6	34,3
19	24,5	37,8	20,3	35,2
20	21,8	37,4	22,6	34,8

<b>21</b>	24,2	37,8	21,5	36,2
<b>22</b>	23,5	36,9	22,9	35,7
<b>23</b>	22,4	36,5	21,2	35,4
<b>24</b>	22,7	37,5	20,4	33,7
<b>25</b>	21,5	36,6	20,6	35,3
<b>26</b>	21,4	36,9	21,7	35,6
<b>27</b>	23,2	37,5	22,4	36,2
<b>28</b>	22,6	37,7	21,8	36,4
<b>29</b>	23,1	36,4	22,4	34,8
<b>30</b>	23,7	36,8	23,2	34,7
<b>31</b>	23,1	37,1	22,2	35,4
<b>32</b>	24,3	36,9	20,6	35,1
<b>33</b>	22,5	36,3	20,9	34,7
<b>Prom</b>	<b>22,730</b>	<b>36,672</b>	<b>21,151</b>	<b>35,166</b>