



# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN  
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
UNIDAD SINALOA**



DEPARTAMENTO DE ACUACULTURA

T E S I S

“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO COMO  
HERRAMIENTA DE MEDICIÓN REMOTA DE PARÁMETROS  
FISICOQUÍMICOS EN SISTEMAS ACUÍCOLAS”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN  
RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

PRESENTA:

ALEJANDRO URÍAS CAMACHO

Guasave, Sinaloa México, Diciembre de 2019

## CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS



### **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL** **SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

#### *CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de Guasave, Sinaloa el día 06 del mes de diciembre del año 2019, el que suscribe Alejandro Urías Camacho alumno del Programa de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente, con número de registro A180352, adscrito al CIIDIR Unidad Sinaloa, manifiesto que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de los Dres. Juan Pablo Apún Molina y Héctor José Peinado Guevara, y cede los derechos del trabajo titulado “Desarrollo de un prototipo robótico como herramienta de medición remota de parámetros fisicoquímicos en sistemas acuícolas” al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones [aleuriascam@gmail.com](mailto:aleuriascam@gmail.com), [japun@ipn.mx](mailto:japun@ipn.mx) y [hpeinado75@hotmail.com](mailto:hpeinado75@hotmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Alejandro Urías Camacho', is written over a horizontal line.

Alejandro Urías Camacho

# SIP 14 BIS



## INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14  
REP 2017

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de  siendo las  horas del día  del mes de  del  se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis,

designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de:

Para examinar la tesis titulada:

Por el (la) alumno (a):





Apellido Paterno:	Urias	Apellido Materno:	Camacho	Nombre (s):	Alejandro
-------------------	-------	-------------------	---------	-------------	-----------

Número de registro:

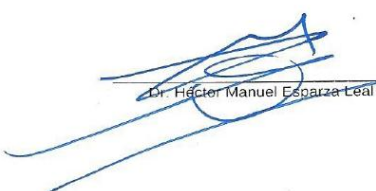
Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Después de la lectura y revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **NO APROBAR**  a tesis, en virtud de los motivos siguientes:

En virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

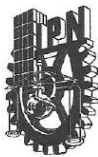
 Dr. Juan Pablo Apún Molina Director de Tesis 12306-EC-16. Profesor colegiado. Titular C	Comisión Revisora de Tesis	 Dr. José Luis Acosta Rodríguez 14045-EB-19. Profesor Colegiado. Titular C
 Dr. Héctor José Peinado Guevara 2º Director de Tesis. profesor externo		 Dr. Omar Llanes Cárdenas 12419-EB-17, Profesor Colegiado Titular A

Presidente del Colegio de Profesores

  
Dr. Héctor Manuel Esparza Leal



CIIDIR - IPN  
UNIDAD SINALOA  
DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**



ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS  
 Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

**RECIBIDO**  
 DIRECCIÓN DE  
 POSGRADO

Guasave, Sinaloa a 31 de mayo del 2018

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-SINALOA en su sesión Ordinaria No. 5 celebrada el día 03 del mes de mayo conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

Urias	Camacho	Alejandro
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre (s)
Con registro: A 1 8 0 3 5 2		

Aspirante de: Maestría  
 en Recursos Naturales y  
 Medio Ambiente

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:  
Desarrollo de un prototipo robótico como herramienta de medición remota de parámetros físicoquímicos en sistemas acuícolas

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:  
Construir una boya en la cual se instalaran sensores de pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto además se colocara una tarjeta electrónica MCU V3 Lolin con wifi integrado para realizar la transmisión de los datos generados por los sensores y enviados vía internet a una página web Para visualizar los datos en tiempo real.

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:  
Juan Pablo Apún Molina y Héctor José Peinado Guevara

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:  
CIIDIR-Unidad Sinaloa que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Directores de Tesis

Dr. Juan Pablo Apún Molina

Dr. Héctor José Peinado Guevara

Aspirante  
  
 Alejandro Urias Camacho

Presidente del Colegio  
  
 Dr. Héctor Manuel Esparza Leal



**CIIDIR - IPN**  
 UNIDAD SINALOA  
 DIRECCION

## **RECONOCIMIENTO A BECAS Y PROYECTOS**

El presente trabajo de tesis se desarrolló en el Departamento de Acuicultura del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Sinaloa del Instituto Politécnico Nacional (IPN), bajo la dirección del Dr. Juan Pablo Apún Molina y el Dr. Héctor José Peinado Guevara. La construcción y materiales para el desarrollo del prototipo fue financiada a través de recursos propios del autor y directores del proyecto. Durante sus estudios el alumno Alejandro Urías Camacho fue apoyado económicamente con una beca CONACYT con clave 894675. El autor agradece al CIIDIR-SINALOA por su apoyo en la infraestructura necesaria para la realización del presente trabajo de investigación, así como al IPN por las becas proporcionadas durante el periodo de estudio del posgrado.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de tesis primeramente a Dios por permitirme lograr esta meta, por darme salud, paciencia, capacidad para poder terminar con éxito todo el trabajo que surgió durante esta gran etapa de mi vida.

A mi señor padre por siempre apoyarme a lograr mis sueños propuestos y siempre estar ahí cuando yo lo necesito, a mi madre por su apoyo incondicional y motivarme a seguir adelante, a mis hermanos por brindarme su confianza y apoyo, y a mis familiares que me tendieron la mano.

También dedico esta tesis a mi abuela que ya no está con nosotros pero fue una persona que siempre me apoyo en las buenas y en las malas por lo que ella forma parte de este logro.

## AGRADECIMIENTOS

### **Agradezco a Dios:**

Por darme la vida, así como la oportunidad para llegar a este nivel de estudios, por prestarme salud, paciencia, perseverancia por darme las fuerzas día a día para sacar a delante mis metas planteadas en la vida y por permitirme terminar el proyecto de maestría.

### **Agradezco a mis directores de tesis:**

Agradezco a mis directores de tesis por tal motivo quiero expresar mi agradecimiento al doctor Juan Pablo Apún Molina y al doctor Héctor José Peinado Guevara por brindarme su tiempo para prepararme en esta etapa más de mi proceso de aprendizaje, por su dedicación en bríndame sus conocimientos y asesorías para que pudiera lograr esta meta.

### **Agradezco a mis maestros:**

Quiero agradecer a los maestros que formaron parte de mi preparación como investigador por brindarme su paciencia y conocimientos profesionales muy útiles para afrontar los nuevos retos que vienen en este noble proceso de generación de conocimiento.

### **Agradezco a mis padres y hermanos:**

Agradezco a mi padre por su apoyo y por ser el pilar principal en mi vida por ser la persona que gracias a su ejemplo de fortaleza y trabajo yo soy lo que hasta el momento he logrado, a mi madre por apoyarme en cada momento en todo lo que me propongo, a mi hermano por su apoyo incondicional y a mi hermana por estar cuando la necesito.

### **Agradezco a mis compañeros y amigos**

Agradezco a mis amigos por apoyarme en todo momento, a mi amigo Moisés Sánchez, a mi amigo Vicente García, a todos los que me apoyaron muchas gracias, a Diana Sánchez por su apoyo incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
GLOSARIO	XII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Red neuronal	4
2.2 Transmisión de datos	5
2.3 Prototipos Robot acuícolas	5
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. HIPÓTESIS	8
5. OBJETIVOS	8
5.1. Objetivo general	8
5.2. Objetivos específicos	8
6. MATERIALES Y MÉTODOS	9
6.1. Propiedades del poliuretano	9
6.2 Procedimiento de fabricación del cuerpo de la boya	10
6.3 Instalación de las placas de aluminio para sostener los accesorios sobre la boya	12
6.4 Aplicación de la fibra de vidrio sobre el cuerpo de la boya	13
6.4.1. Detallado de la fibra de vidrio	13
6.5. Proceso de pintado de la boya	14
6.6. Flotadores de apoyo para equilibrio	15
6.7 Desarrollo del brazo robótico	17
6.8. Sistema electrónico del brazo robot	22
6.8.1. Arduino nano	22
6.8.2. Módulo relevador arduino	23
6.8.3. Regulador UBEC 7.4 voltios y 5 voltios	23
6.8.4. Driver para motor a pasos A4988	24
6.8.5. Circuito controlador del brazo completamente ensamblado	25
6.9. Brazo robot totalmente ensamblado	25
6.10. Código de programación para el control de los movimientos.	26
6.11. Sistema de limpieza de sensores	27
6.12. Boquillas aspersores de agua	29
6.13. Fabricación de la polea encargada de enrollar el cable de los sensores	30



6.14. Dispositivo para sujetar los sensores	31
6.15. Desarrollo de una transmisión para mover la polea y los sensores	32
6.16. Base para posar los sensores al terminar la rutina de censado	35
6.17. Dispositivo para guardar la batería y el sistema de carga de las celdas solares	35
6.18. Dispositivo contenedor y base para proteger al celular	36
6.19. Sensores	37
6.19.1. Sensor de oxígeno disuelto (OD)	39
6.19.2. Sensor de temperatura	39
6.19.3. Sensor de conductividad eléctrica (salinidad)	39
6.19.4. Sensor de pH	39
6.20. Implementación del sistema de alimentación de energía a través de batería sellada y celdas solares.	40
6.21. Red inalámbrica WiFi para envío de información a la red	42
7. RESULTADOS Y DISCUSIONES	45
7.1. Diseño del cuerpo flotante	45
7.2. Diseño y construcción de brazo robótico y sistema de limpieza de sensores	45
7.3. Selección, instalación y conexión de los sensores (pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto) y el sistema electrónico de procesamiento de datos	47
8.. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
8.1 Conclusiones	54
8.2. Recomendaciones	55
BIBLIOGRAFÍA	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aplicación de espuma de poliuretano en la fabricación de la boya	9
Figura 2 llenado del contenedor con espuma de poliuretano	10
Figura 3. Respiradores de las boquillas y mangueras instaladas	11
Figura 4. Anclajes de aluminio fijados con tornillos de acero inoxidable.	11
Figura 5. Instalación de las placas de aluminio y tornillos de acero inoxidable	12
Figura 6. Aplicación de la tela de fibra de vidrio y resina epóxica.	13
Figura 7. Detallado de la fibra de vidrio y aplicación de una capa de resina	14
Figura 8. Proceso de pintado de la boya con una pintura amarilla fluorescente	14
Figura 9. El cuerpo de la boya completamente detallado y pintado	15
Figura 10. Flotador de plástico permitirá el equilibrio del dispositivo flotante mediante los brazos de fibra de carbono para imitar el cuerpo del lirio acuático.	16
Figura 11. Flotadores instalados en la boya para dar estabilidad y equilibrio.	16

Figura 12. Fabricación de la base del brazo a partir de un copleé de 4" de PVC.	18
Figura 13. Fabricación de la estructura base del brazo a partir de perfiles de aluminio.	18
Figura 14. Base superior del brazo fabricada con tubos de PVC y perfiles de aluminio.	19
Figura 15. Fabricación de la base del motor a pasos a partir de un tubo de PVC de 2 pulgadas y una base de aluminio.	20
Figura 16. Motor a pasos instalado utilizando dos tornillos de acero inoxidable y base con balero de plástico de 8 mm.	20
Figura 17. Proceso de pintura del brazo robot.	21
Figura 18. Cápsula fabricada con PVC y sistema enroscables mediante coplees hembra y macho además de la instalación del botón de encendido y reset.	22
Figura 19. Shield arduino y arduino nano montado con sus respectivas conexiones.	23
Figura 20. Módulo relevador de 5 voltios.	23
Figura 21. UBEC 7.4 voltios 5 amperes y UBEC 5 voltios 3 amperes y circuitos conectados al protoboard	24
Figura 22. Conexión del driver A4988 a la tarjeta perforada para su correcto funcionamiento.	24
Figura 23. Conexiones del circuito controlador del brazo robot y cautín para soldar.	25
Figura 24. Brazo robot ensamblado	26
Figura 25. Código encargado de controlar las rutinas del brazo.	27
Figura 26. Instalación de la bomba y pegado de coplees de 4 pulgadas.	28
Figura 27. Instalación de la tubería interna del tanque fabricada en PVC y en los extremos se les inserto dos coplees para manguera de 4 mm.	28
Figura 28. Contenedor de agua destilada completamente terminado con su respectivo conector y manguera distribuidora.	29
Figura 29. Boquillas de porcelana con sus respectivos coples de entrada de agua instalados	30
Figura 30. Polea encargada de enrollar los cables y sostener las tarjetas de los sensores.	31
Figura 31. Dispositivo sujetador de los sensores fabricado en PVC	32
Figura 32. Transmisión con engrane piñón y engrane principal adaptado al eje	33
Figura 33. Transmisión con triple reducción permite obtener un gran torque en el eje final.	34
Figura 34. Sistemas de engranes empotrados en la boya	34
Figura 35. Base encargada de proteger los sensores cuando están en reposo	35
Figura 36. Dispositivo para guardar las baterías y proteger al sistema de carga	36
Figura 37. Contenedor de PVC para proteger al celular y base a medida del mismo impresa en 3D.	36
Figura 38. Diagrama de sensores conectados a la placa electrónica Node	38
Figura 39. Sistema de alimentación consiste en una batería sellada, un sistema de control de energía y una celda solar	41

Figura 40. Proceso mediante el cual los sensores hacen la medición y se procesa la información para ser enviada al servidor web	43
Figura 41. Diagrama de procesamiento de datos y envío de información a la página web	44
Figura 42. Aplicación práctica en estanques dentro del CIIDIR Sinaloa para monitorear la efectividad del prototipo.	44
Figura 43. Desempeño y envío de datos de sensor de Oxígeno Disuelto	48
Figura 44. Desempeño y envío de datos de sensor de Temperatura	49
Figura 45. Desempeño y envío de datos de sensor de pH	50
Figura 46. Relación entre la salinidad y la conductividad eléctrica en muestras de agua	52
Figura 47 Desempeño y envío de datos: (A) Sensor de conductividad eléctrica y (B) Salinidad calculada	53

## **Índice de Tablas**

Tabla 1. Lecturas de salinidad y conductividad eléctrica para 17 muestras de agua	51
---	----

## GLOSARIO

**AMPERIO:** Unidad de medida de la corriente eléctrica, que debe su nombre al físico francés André Marie Ampere, y representa el número de cargas (coulombs) por segundo que pasan por un punto de un material conductor.

(1 Amperio = 1 coulomb/segundo).

**ACUACULTURA:** Acción de cultivar organismos acuáticos tanto en zonas costeras como del interior que implica intervenciones en el proceso de cría para aumentar la producción.

**ACUACULTURA RURAL:** Sistema de producción de organismos acuáticos a pequeña escala, realizada de forma familiar o en pequeños grupos rurales, llevada a cabo en cultivos extensivos o semi intensivos, para el autoconsumo o venta parcial de los excedentes de la cosecha.

**CAMARONICULTURA:** Producción de camarones en cautiverio, es una actividad de cultivo en medio acuático, con fines de producción y comercialización como meta final, industrializada por medio de la tecnología.

**CORROSIÓN:** Ataque químico y electroquímico gradual sobre un metal producido por la atmósfera, la humedad y otros agentes.

**CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA:** Capacidad de una sustancia o material para permitir el paso de corriente eléctrica a través de sí, es decir, de transportar electrones. Es lo contrario a la resistencia eléctrica. Los conductores eléctricos varían según la temperatura y las estructuras atómicas y moleculares de las sustancias o materiales. Se destacan dos tipos de conductores eléctricos que son los metálicos y los electrolitos.

**CULTIVO SEMIINTENSIVO:** Sistema de producción usado en las fincas camaroneras, donde se aplica un alto nivel tecnológico en la construcción y proceso de cultivo del camarón, que permite una producción eficiente y

rentable. En este sistema se pueden diferenciar tres niveles de eficiencia: bajo, medio y alto.

**ENERGÍA SOLAR:** Energía radiante producida en el sol como resultado de reacciones de fusión nuclear; esta energía se propaga a través del espacio por las partículas llamadas fotones.

**ESTANQUES:** Estructura componente en una granja acuícola, la cual es diseñada y construida bajo especificaciones que permiten el cultivo eficiente de organismos acuáticos. En fincas camaroneras, los estanques están conformados por un muro, una meseta, canales de cosecha, estructuras de entrada y de salida, entre otros.

**PIÑÓN:** El más pequeño de dos engranes en contacto. Puede ser el impulsor o el impulsado.

**POTENCIA:** Cantidad de trabajo realizado en una unidad de tiempo. La potencia de un motor se mide en caballos de vapor (CV) o en kilovatios (Kw) en el sistema internacional.

**PROTOTIPOS:** Primeros equipos de prueba realizados en los laboratorios de desarrollo.

**ROBÓTICA:** Técnica que aplica el diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales.

**SOSTENIBILIDAD:** Calidad de ser sostenible, especialmente las características del desarrollo que aseguran las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de futuras generaciones.

## RESUMEN

México, cuenta con grandes extensiones de litoral y de zonas factibles para la acuicultura, siendo el cultivo de camarón el más importante, hablando del volumen de producción. En un sistema acuícola, es importante monitorear constantemente los parámetros de la salinidad, temperatura, pH y oxígeno disuelto, debido a la relación que presenta con el desarrollo del cultivo mismo. Cuando se presentan alteraciones en estos parámetros comprometen directamente el desarrollo y supervivencia de los organismos, lo cual puede causar importantes pérdidas económicas. Por lo anterior se diseñó un prototipo flotante que transmite la medición de los parámetros en tiempo real y que está conformado por sensores, celdas solares y baterías. Este dispositivo, posee las siguientes propiedades: 1) extender el tiempo de medición de los parámetros debido al uso de celdas solares, 2) los resultados de las mediciones podrán ser visualizados en cualquier dispositivo móvil, esto mediante una página web que proporciona al usuario los datos de manera constante, lo cual permite la toma de decisiones en tiempo real y 3) el prototipo tiene integrado un sistema de brazo robótico, el cual proporcionara auto-limpieza a los sensores, y esto se logra mediante un sistema de aspersion de agua destilada. El prototipo se probó en un estanque acuícola en las instalaciones de CIIDIR Sinaloa y se validó con lecturas de aparatos correspondientes a cada uno de los sensores para validar el funcionamiento encontrando en todos los casos correlaciones superiores a 0.99.

**Palabras clave:** acuicultura, dispositivo, boya inteligente, salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto.

## **ABSTRACT**

Mexico has large areas of coastline and areas that are feasible for aquaculture, with shrimp farming being the most important, talking about the volume of production. In an aquaculture system, it is important to constantly monitor the parameters of salinity, temperature, pH and dissolved oxygen, due to the relationship it presents with the development of the crop itself. When changes occur in these parameters directly compromise the development and survival of organisms, which can cause significant economic losses. Therefore, a floating prototype was designed that transmits the measurement of the parameters in real time and is made up of sensors, solar cells and batteries. This device has the following properties: 1) extend the measurement time of the parameters due to the use of solar cells, 2) the results of the measurements can be displayed on any mobile device, this through a web page that provides the user with the data in a constant way, which allows real-time decision making and 3) the prototype has an integrated robotic arm system, which will provide self-cleaning to the sensors, and this is achieved through a distilled water spray system. The prototype was tested in an aquaculture pond at the facilities of CIIDIR Sinaloa and was validated with readings of devices corresponding to each of the sensors to validate the operation finding in all cases correlations greater than 0.99.

Keywords: aquaculture, device, smart buoy, salinity, temperature, pH, dissolved oxygen.

## 1 INTRODUCCIÓN

En la última década, la acuicultura es la actividad del sector primario de mayor crecimiento en la economía global, con 7% anual, superando a la producción de los sectores agrícolas, ganaderos y forestales. La actividad acuícola representa una solución a las necesidades alimentarias globales así como a las materias primas y bioenergéticas (Plata Rosado *et al.*, 2017). Por su posición geográfica en América, México es uno de los países que posee un mar territorial extenso conformado por los océanos Pacífico y Atlántico. Como resultado de esta conformación, el país azteca presenta: climas variados, diversidad geológica y ecosistemas dulceacuícolas, salobres y marinos, los cuales confieren un potencial natural para el cultivo de diversas especies de peces, moluscos y crustáceos (Campos *et al.*, 2016).

Actualmente, el control de los procesos que pueden afectar el buen resultado de la producción acuícola se basa en el monitoreo, diagnóstico y consecuentemente en la aplicación de medidas de prevención y control (Ortega, 2016). Cuando se habla de crianza de peces, entre los principales parámetros a medir en el agua son: temperatura, pH y nivel de agua en el tanque, sin embargo, el nivel de oxígeno disuelto, salinidad, entre otros parámetros, también adquieren relevancia en situaciones específicas. Por lo anterior, en cualquier sistema de cultivo es fundamental la innovación en proyectos encaminados al monitoreo de parámetros que relacionen al ambiente con la acuicultura (Dulanto, 2011).

Para el llenado y recambio de agua diaria, la mayoría de los procesos acuícolas dependen del uso de agua provenientes de estuarios, ríos, mares o esteros. Por lo anterior, es de vital importancia medir parámetros del agua en períodos de tiempo cortos con suficiente precisión y actualización (Valenzuela Quiñónez *et al.*, 2017).

En cualquier sistema acuícola, es muy importante monitorear en tiempos constantes la salinidad, temperatura, pH, nivel del agua, así como el oxígeno disuelto, debido a la influencia que tienen estos parámetros fisicoquímicos en la salud, patrón de



alimentación y tasa de crecimiento de los organismos que se cultivan (Olivo Gutiérrez et al., 2018).

Después de una minuciosa búsqueda bibliográfica, se encontraron proyectos ya culminados conforme al desarrollo y prueba de aplicación de redes inalámbricas aplicados a un sistema de monitoreo, los cuales aumentaron el ahorro de recursos cuando se obtiene información vía remota desde varios kilómetros de distancia. Este tipo de proyectos cobran especial relevancia por la necesidad que se tiene a nivel mundial en cuanto al acceso a la información de manera constante y en tiempo real y por vía remota, con el fin de tomar decisiones por ejemplo en piscinas para el cultivo del camarón (Rosado y Meza Cercado, 2018).

En el caso de Díaz-López y Vargas-Gómez (2018, diseñaron un módulo electrónico usado en la crianza automatizada de peces, a través del modelamiento matemático multiparamétrico aplicado la medición de parámetros fisicoquímicos.

Olivo Gutiérrez et al., 2018, desarrollaron un prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón donde los componentes al interior de la carcasa se ensambla y se fija a la misma por medio de postes y barras, siendo de esta manera capaz de monitorear diversos parámetros como oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura, donde la medición se realiza en forma continua y de acuerdo con un determinado intervalo de tiempo, según sea necesario.

Por su parte, Rocher et al. (2018), implementaron con éxito una red de sensores que realizan medidas de la turbidez y la temperatura en tanques, utilizando como nodo un Flyport que envía los datos medidos a un servidor.

También Dussán et al., (2016) diseñaron e implementaron un prototipo electrónico para monitoreo de parámetros físico-químicos (temperatura y oxígeno disuelto del

agua) en estanques de agua dulce para cultivo de tilapia, a través de una aplicación móvil.

Para el caso de Cabanilla et al. (2019), desarrollaron un prototipo que controla la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en el agua del cultivo y la supervivencia de camarón, lo anterior conforme al uso de controladores p, pi, pid y lógica difusa, la información se envía hacia una unidad remota, la cual permite visualizar el estado de las variables mediante una interfaz HMI, los estados de las variables son obtenidas mediante sensores colocados en la piscina.

Por su parte, López Arellano (2018) en su tesis doctoral muestra el diseño de un prototipo para monitorear el crecimiento óptimo del camarón, lo anterior mostrando su comportamiento a través de gráficas de sonido utilizando un software basado en tecnología inalámbrica. Lo anterior permite visualizar la respuesta de masticación del animal, llevar un control del consumo de la cantidad de balanceado, reduciendo de esta forma el costo de producción y mano de obra, además que permite la verificación de los parámetros oxígeno y temperatura en tiempo real.

La presente Tesis se enfocó en el diseño de un sistema de monitoreo constante de parámetros como temperatura, pH, salinidad y oxígeno disuelto en sistemas acuícolas mediante un mecanismo tipo brazo robótico que se encarga de monitorear periódicamente los parámetros del agua para posteriormente guardarse en un sitio especial para mayor durabilidad de los sensores incluyendo a su vez un sistema de lavado de los sensores después de tomar las lecturas.

## 2 ANTECEDENTES

Con el objetivo de generar una alternativa de bajo costo que ayude a facilitar la actividad acuícola, fue necesario conocer el estado del arte de los avances tecnológicos en acuicultura para desarrollar un prototipo robótico como herramienta de medición remota de parámetros fisicoquímicos en sistemas acuícolas,. Por este motivo se deben establecer las condiciones de medición de los parámetros fisicoquímicos, el tipo de sensores a usar, la manera en que el usuario adquirirá, transmitirá y almacenará los datos. De igual manera, se deben evaluar las fortalezas y debilidades del prototipo para optimizar la eficiencia en su funcionamiento.

### 2.1. Red neuronal

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) han incrementado su uso por los investigadores porque facilitan el establecimiento de aplicaciones de control y monitoreo. Estas redes simples de bajo costo permiten que los procesos de monitoreo se realicen de manera remota, en tiempo real y con poca intervención del hombre para su puesta en marcha (Pule *et al.*, 2017). Su aplicación en distintos proyectos es viable, se comprueba con el dispositivo desarrollado por Zhou *et al.*, 2013 aplicó un entrenamiento utilizando una red neuronal para el sistema de locomoción de un prototipo de pez, siendo alimentada con información adquirida de manera previa.

El desarrollo de sistemas de monitoreo resulta factible para ser utilizado en jaulas de acuicultura en mar abierto, teniendo mayor control del proceso de monitoreo basado en la combinación de dos tecnologías: plataformas de comunicación inalámbrica 3G y sistema integrado basado en aplicaciones Android (Wang *et al.*, 2012). Carbajal-Hernández et al. (2017) presentaron un modelo computacional para la evaluación de la calidad del agua en granjas de cultivo extensivo para camarón *Litopenaeus vannamei* y establecieron que la creación de un modelo neuronal

genera un indicador sobre el comportamiento de los parámetros en el sistema de cultivo.

## 2.2. Transmisión de datos

Es importante conocer el funcionamiento del sistema de transmisión de los datos a partir de las necesidades y características geográficas del lugar. Simbeye *et al.* (2014) desarrollaron e implementaron módulos de corto alcance de red de sensores inalámbricos de bajo costo usando tarjetas electrónicas ZigBee y se implementó la tecnología de instrumentos virtuales para monitorear y controlar un sistema acuícola en tiempo real revisando el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua. Así mismo, se tiene conocimiento de que se están utilizando sensores de nueva generación sobre estado sólido para ser incorporados a las redes inalámbricas y realizar monitoreo de parámetros fisicoquímicos (Zhuiykov, 2012). Rocher *et al.* (2018) diseñó una boya con la cual monitoreo la turbidez y temperatura en tanques acuícolas y los datos obtenidos fueron procesados por un microcontrolador y enviados mediante WiFi al servidor central los cuales desde el servidor central son enviados mediante internet al móvil o PC de la persona encargada de la vigilancia.

## 2.3. Prototipos Robot acuícolas

El sistema más empleado para monitorear parámetros fisicoquímicos es el uso de boyas, puede construirse acorde a las necesidades, tomando como ejemplo el que crearon Schmidt *et al.* (2018) diseñaron una boya de precio accesible para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos de las granjas acuícolas cercano a la costa, los sensores fueron diseñados para tolerar las variaciones en la calidad del agua de manera física y biológica.

El pez robótico es un dispositivo innovador de movimiento subacuático, potencialmente eficiente, maniobrable y silencioso (Zhou *et al.*, 2013), sin embargo,

presenta la limitante en el consumo de energía y la fuente de suministro del mismo por ser de baja duración. A pesar de ello, es de gran utilidad para necesidades específicas. Algunos autores están trabajando en el desarrollo de prototipos de peces robóticos para ser utilizados en lugares de difícil acceso para el ser humano, como la brecha de roca submarina, el interior de oleoductos y estructuras de barcos hundidos entre otros (Zhou *et al.*, 2008).

El prototipo robótico autónomo está diseñado para moverse bajo el agua a fin de recopilar información marina, tales como la temperatura del agua y el nivel de contaminación. Se utiliza una boya que recopila los datos transmitidos por los sensores (Ryuh *et al.*, 2015). Por su parte, Noor *et al.*, 2016 desarrollaron un sensor de fibra óptica con membrana para medir el oxígeno disuelto con la finalidad de ser utilizado en la acuicultura, monitoreo de ríos y aplicaciones en el sector ambiental.

Se han desarrollado también prototipos robóticos acuáticos basados en la fisiología y nado de los delfines para monitorear los parámetros del agua incorporando nuevos sistemas de sellos impermeables (Wu *et al.*, 2017).

### **3 JUSTIFICACIÓN**

Para el desarrollo nacional se deben contar con información confiable, actualizada de los sistemas que intervienen en la producción de alimentos, debido a su gran demanda por la población.

La acuicultura es el negocio de producción de alimentos que en los últimos años ha mostrado tendencias al alza en cuanto a crecimiento según registros mundiales, está acompañado por la intensificación de los cultivos y la optimización de los recursos suelo y agua.

Debido a esto, es importante generar o mantener una acuicultura de precisión, desarrollando herramientas en el campo de la tecnología de la información tales como los sistemas de monitoreo continuo sobre los procesos del cultivo y facilitar la toma de decisiones para mejorar la eficiencia de la actividad.

En esta Tesis, se diseñó un prototipo flotante en agua que permitirá la instalación de sensores, celdas solares y baterías. Además, este dispositivo tendrá la capacidad de recopilar mediciones de manera constante y duradera, debido la alta capacidad de energía que le proveen las celdas solares. Otra ventaja de este dispositivo, es que los datos medidos podrán ser visualizados en una computadora en tiempo real, debido a que los datos serán enviados a una página web, mostrando de esta manera los datos constantemente permitiendo al usuario tomar decisiones respecto a las lecturas de los parámetros. Por último, el prototipo desarrollado en esta Tesis integra un sistema de brazo robótico, el cual que limpia los residuos de agua salada presente en los sensores, este proceso se realiza mediante un sistema de aspersión de agua destilada.

## **4 HIPÓTESIS**

*“El desarrollo de un prototipo de monitoreo continuo y transmisión de datos de las variables fisicoquímicas en tiempo real en la acuicultura moderna, facilitará la toma de decisiones y mejorará la eficiencia de los cultivos acuícolas intensivos e hiperintensivos”.*

## **5 OBJETIVOS**

General

Diseñar y construir un prototipo flotante para el monitoreo y transmisión en tiempo real de algunas variables fisicoquímicas para sistemas acuícolas.

Específicos

1. Diseñar y construir el cuerpo de flotabilidad del prototipo.
2. desarrollar un brazo robótico, sistema de limpieza de sensores  
Implementación de los sistemas de sensores, transmisión de datos y sistema de alimentación.
3. Evaluar el desempeño del sistema de monitoreo en un sistema acuícola.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

**Objetivo 1. Diseñar y construir la boya con materiales resistentes al agua salada y a la corrosión.**

### 6.1 Propiedades del poliuretano

En la construcción de la boya se utilizó espuma de poliuretano como relleno debido a las propiedades mecánicas del material que lo hacen ideal para moldearse, flotar además de ser impermeable y permite darle un acabado al producto final (Figura 1).

El plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) y el polietileno de alta densidad (HDPE), son materiales utilizados habitualmente en la fabricación de recipientes termo aislados, a menudo con espumas plásticas como aislante. Uno de los tipos más comunes de recipientes termo aislados utilizados en la industria pesquera está fabricado con HDPE de pared doble con espuma de poliestireno o poliuretano expandido como aislante (Pedraza Cuadros, 2018).

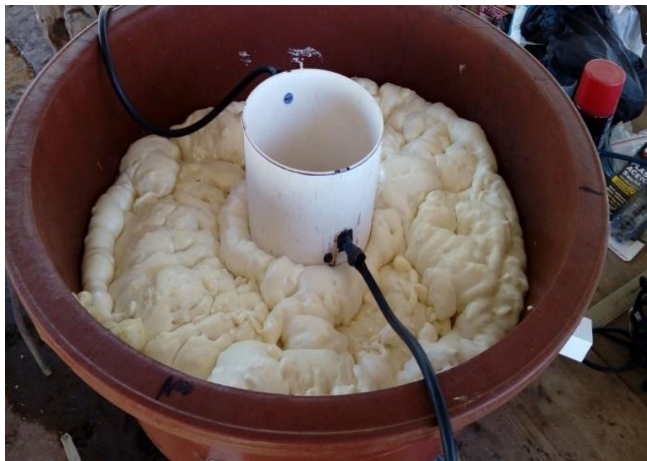


**Figura 1. Aplicación de espuma de poliuretano en la fabricación de la boya**



## 6.2 Procedimiento de fabricación del cuerpo de la boya

Se adquirió un contenedor circular de plástico con diámetro de 63 cm y una altura de 32 cm que sirve de molde y protección de la boya la cual fue rellena con espuma de poliuretano, en la parte media de la boya se montó un tubo de PVC de 6" de diámetro su función es permitir a los sensores entrar y salir con el objetivo de estar en contacto con cuerpos de agua permitiendo al sistema realizar mediciones de una forma más práctica (Figura 2).



**Figura 2. Llenado del contenedor con espuma de poliuretano**

Se procedió a instalar las boquillas y el sistema de mangueras previo al total llenado con la espuma permitiendo que las mangueras y los respiradores de las boquillas queden totalmente sumergidas con poliuretano (Figura 3). El cuidado de los sensores que se instalaron en la boya es de relevancia toda vez que permiten aumentar su durabilidad. Pelayo (2018) estable en su tesis de licenciatura que la degradación de materiales en ambientes marinos es un proceso natural mismo que se produce de forma espontánea, destruyendo o reduciendo las propiedades de los materiales en servicio recomendando controlar estos procesos degradativos para mantener intactas las características de los componentes el mayor tiempo posible, sin embargo, reconoce que los problemas relacionados con la corrosión nunca

terminarán (Pelayo, 2018). Por tal razón estas boquillas tienen como objetivo rociar con agua destilada los sensores después de hacer la medición con el objetivo de protegerlos y aumentar su durabilidad.



**Figura 3. Respiradores de las boquillas y mangueras instaladas**

Después de haber rellenado la mayor parte del dispositivo flotante se procedió a instalar los 4 anclajes de aluminio fijados mediante tornillos de acero inoxidable y distribuido de forma equitativa en el cuerpo de la boya, su función es sostener los brazos que mantendrán el equilibrio del dispositivo flotante (Figura 4).



**Figura 4. Anclajes de aluminio fijados con tornillos de acero inoxidable**

### 6.3. Instalación de las placas de aluminio para sostener los accesorios sobre la boya

Se instalaron 4 placas de aluminio sobre la boya, su función es sostener mediante 2 tornillos de acero inoxidable sobre cada placa los 3 accesorios principales de la boya, los cuales comprenden: el tanque de agua destilada, el brazo robot con la polea, y el contenedor de baterías, este sistema permite quitar de forma fácil y rápida los accesorios mediante el uso de 2 tuercas tipo mariposa, se dejó una placa extra instalada para cualquier requerimiento de accesorios futuros (Figura 5).

La corrosión en aluminios expuestos a ambientes marinos por la acción del ambiente al entrar en contacto con el oxígeno para formar el  $Al_2O_3$  que es un óxido muy estable desde el punto de vista termodinámico, y la formación de este óxido de aluminio es mucho más rápida que la de los óxidos de hierro por lo que la velocidad de corrosión del aluminio también es alta, por tal razón, para evitar este tipo de corrosión, debemos aislar el aluminio del contacto con cualquier otro metal ya sea a través de imprimaciones de Zn o con pinturas (Negrón López, 2018)



**Figura 5. Instalación de las placas de aluminio y tornillos de acero inoxidable**

#### **6.4. Aplicación de la fibra de vidrio sobre el cuerpo de la boya**

De igual forma se realizó la aplicación de dos capas de fibra de vidrio sobre el cuerpo de la boya para hacerla más rígida y resistente a la corrosión, se aplicó resina epóxica utilizando una brocha para hacer aún más resistente la tela de fibra, una vez que la resina estaba seca se realizó un lijado para quitar imperfecciones del material y preparar la boya para pintarla con un color que resalte (Figura 6).



**Figura 6. Aplicación de la tela de fibra de vidrio y resina epóxica**

##### **6.4.1 Detallado de la fibra de vidrio**

Se aplicó resina epóxica en tres capas para hacer aún más resistente la fibra y un proceso de lijado para dejar listo el material y proceder a pintar (Figura 7).





**Figura 7. Detallado de la fibra de vidrio y aplicación de una capa de resina**

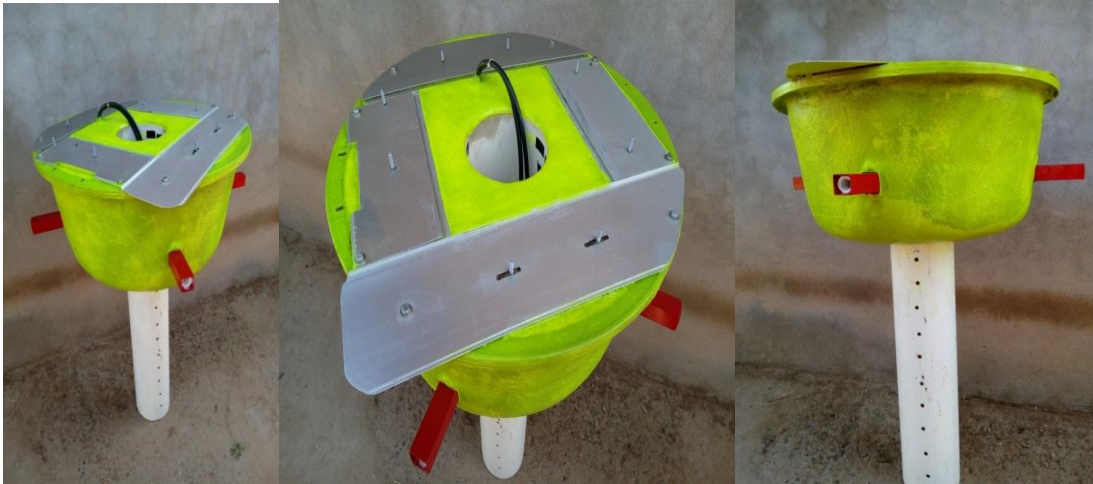
### **6.5. Proceso de pintado de la boya**

Una vez preparada la superficie de la boya se procedió a pintar todo el cuerpo de la misma con una pintura resistente a la corrosión y de color amarillo fluorescente además de la pintura se le aplicó un abrillantador el cual da resistencia y acabado a la pintura porque estará expuesta al agua de origen marino (Figura 8).



**Figura 8. Proceso de pintado de la boya con una pintura amarilla fluorescente**

Cuando la pintura estaba seca por completo, se le aplicó una pintura abrillantadora para darle el acabado final (Figura 9).



**Figura 9. El cuerpo de la boya completamente detallado y pintado**

## **6.6 Flotadores de apoyo para equilibrio**

Para que el dispositivo flotante tenga buen equilibrio, balanceo y flotabilidad nos inspiramos en la fisiología del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) aprovechando las propiedades físicas de esta planta acuática, basamos nuestro modelo debido a que la planta presenta muy buen equilibrio y flotabilidad le permite no voltearse gracias a que cuenta con varios brazos dotados de terminaciones las cuales están huecas y flotan, utilizando estas características de la planta se instalaron 4 flotadores de 6" fabricados en plástico hueco tales características le permiten flotar y para fijarlos a los anclajes del dispositivo flotante se utilizaron 4 tubos de fibra de carbono de 50 cm de largo y 2 cm de diámetro que gracias a las características mecánicas de la fibra de carbono permiten que los tubos se flexionen para equilibrar todo el cuerpo flotante y una vez estabilizado la fibra regresa a su forma original (Figura 10).



**Figura 10. Flotador de plástico permitirá el equilibrio del dispositivo flotante mediante los brazos de fibra de carbono para imitar el cuerpo del lirio acuático**

Al concluir la fabricación del dispositivo flotante se instalaron los flotadores al anclaje de aluminio mediante los tubos de fibra de carbono, se sujetaron utilizando dos coples de PVC de ¼" entrada enroscables para hacer más práctico el momento de futuros traslados facilitando el ensamble de los brazos del dispositivo (Figura 11).



**Figura 11. Flotadores instalados en la boya para dar estabilidad y equilibrio**

**Objetivo 2. 2. desarrollar un brazo robótico, sistema de limpieza de sensores  
Implementación de los sistemas de sensores, transmisión de datos y sistema  
de alimentación.**

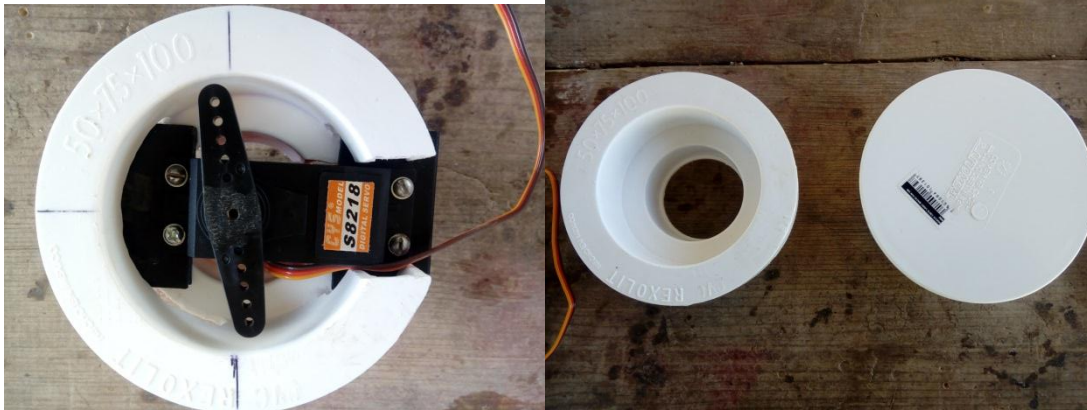
## **6.6 Desarrollo del brazo robótico**

Debido a que los sensores se encuentran sumergidos en el agua todo el tiempo y por las condiciones del sistema de cultivo, normalmente se forma una capa de micro y macroalgas así como organismos sesiles alrededor de los sensores, debido a esto se fabricó un sistema de lavado mediante un brazo robot utilizando materiales de precio accesible y resistentes a la temperatura, brisa marina entre otras variables climatológicas, se utilizaron materiales como perfiles de aluminio, tubos y codos de PVC, 1 servomotor de 40 kg.cm, 1 motor a pasos nema 17, pegamento para PVC, 1 arduino nano, 1 shield arduino, 1 driver A4988, 1 relevador arduino y dos relevadores arduino estado solido, además que se utilizó pintura resistente a la corrosión y un tratamiento con pintura transparente para que resista el sol y la brisa marina.

A continuación se describe el proceso de fabricación del brazo robot y se mencionan los materiales utilizados:

Para fabricar la base del brazo se utilizó 1 cople y tapadera de PVC de 4" se realizó un corte transversal al cople utilizando una herramienta rotativa dremel para permitir que el servomotor de 40 kg ensamble correctamente al cople y para fijarlo se utilizó pegamento kola loka industrial y 4 tornillos de acero inoxidable (Figura 12).





**Figura 12. Fabricacion de la base del brazo apartir de un cople de 4” de PVC**

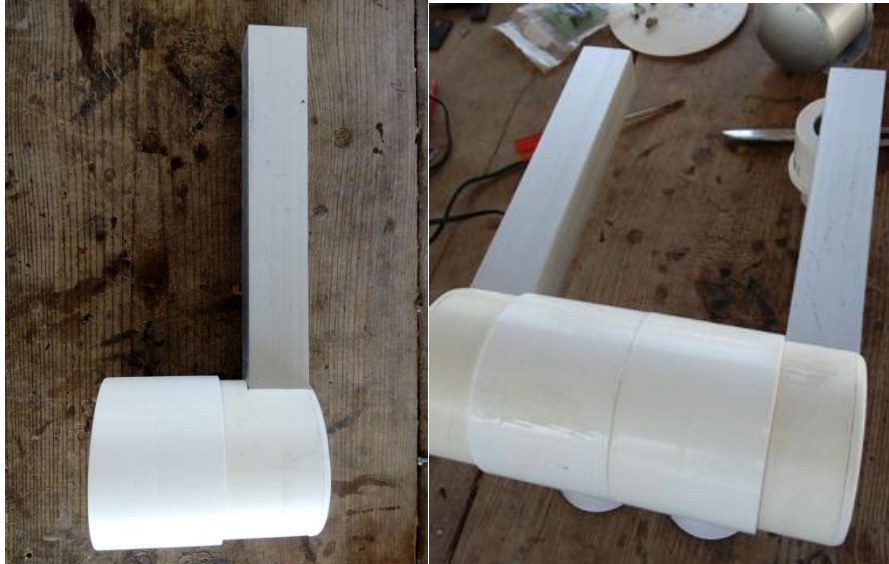
Una vez fabricada la base del brazo, se realizó el ensamble posterior a la base utilizando dos perfiles de aluminio cuadrados de 3x3 cm. Su función es sostener la parte superior del brazo y dando rigidez a la estructura, para fijar los perfiles a la base del motor se utilizaron tornillos de acero inoxidable y pegamento para PVC. Una vez obtenido este mecanismo, la base es totalmente giratoria y permitirá que el brazo gire en sentido horario y antihorario haciendo la función de mover el brazo a la base donde estarán los sensores y luego permitir que los sensores se introduzcan al mar (Figura 13).



**Figura 13. Fabricación de la estructura base del brazo apartir de perfiles de aluminio**

Posterior a la fabricación de la base y parte media del brazo se ensambló la pieza que sostiene al motor a pasos nema 17 y a la polea que en su conjunto sirve de

base para todo el sistema electrónico de transmisión y procesamiento de los sensores. Esta fabricada en dos tubos de 2 pulgadas como base para inserción en los brazos de aluminio y en la parte media son dos tapaderas de PVC de 3" las cuales se unieron utilizando pegamento para PVC y en su interior pasan los cables necesarios para que los circuitos funcionen (Figura 14).



**Figura 14. Base superior del brazo fabricada con tubos de PVC y perfiles de aluminio**

Una vez desarrollada la estructura del brazo, se procedió a fabricar una carcasa de aluminio y PVC para proteger al motor a pasos de la temperatura y la corrosión, se cortó un tapón de PVC de 2 pulgadas permitiendo que el motor entre libremente quedando totalmente introducido en el tapón y se ranuró una pestaña para que puedan entrar los cables, posteriormente se fabricó la base del motor utilizando un trozo de aluminio de 4 x 8 cm y se fijó al brazo mediante dos tornillos de 4 cm de largo de acero inoxidable, se le instaló un oring para que sea impermeable (Figura 15).



**Figura 15. Fabricación de la base del motor a pasos a partir de un tubo de PVC de 2 pulgadas y una base de aluminio**

Al finalizar la fabricación de la base del motor se relizaron las perforaciones en el perfil de aluminio para instalar el motor, se utilizaron dos tornillos de 4 cm de largo de acero inoxidable permitiendo quedar fijo a la base y se realizó una perforación al perfil de aluminio para meter los cables y asi evitar dejarlos a la interperie.

Para permitir que la polea gire de manera balanceada y no se salga de su curso, se fabricó una base con un balero de 8 mm diametro interno y 12 mm diametro externo y se fijó con dos tornillos de acero inoxidable de 4 cm de largo (Figura 16).



**Figura 16. motor a pasos instalado utilizando dos tornillos de acero inoxidable y base con balero de plástico de 8 mm**

Al concluir la fabricación de las piezas del brazo robot, se lijaron las partes para proceder a pintarlas usando pintura rojo bermellon y color aluminio, al secarse, se pintaron con una laca transparente para proteger la pintura del sol y la corrosión (Figura 17).



**Figura 17 . Proceso de pintura del brazo robot**

Debido a las condiciones a las que el equipo estará expuesto se fabricó una cápsula apartir de un tubo de PVC de 3 pulgadas y se cortó un cople hembra y macho enroscable para facilitar el acceso a los sensores y botones se utilizó pegamento para PVC y un oring para evitar que la humedad entre a los circuitos y en la parte inferior de la capsula se instaló una base hecha de PVC la cual sujeta al botón de encendido general y a un boton normalmente abierto para resetear al equipo (Figura 18).





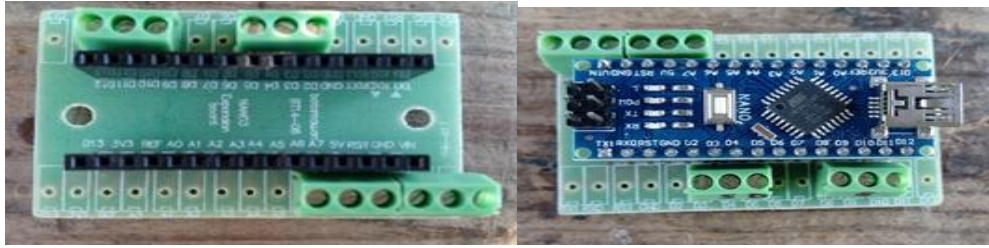
**Figura 18. Cápsula fabricada con PVC y sistema enrroscable mediante coples hembra y macho además de la instalación del botón de encendido y reset**

## **6.8. Sistema electrónico del brazo robot**

El sistema electrónico del brazo robot consiste principalmente en un arduino nano, un UBEC de 5v para alimentar y proteger de corrientes altas a los circuitos electronicos, un UBEC de 7.4 v para alimentar al servomotor de 40 kg.cm, un driver A4988 para motores a pasos, un relevador arduino de 5 v para controlar la bomba de lavado de sensores y dos relevadores arduino para controlar el lapso de apagado de los motores.

### **6.8.1. Arduino nano**

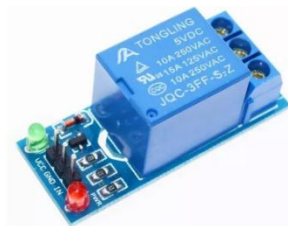
El arduino nano consiste en pequeña y completa placa basada en un microcontrolador ATmega 328 y su protocolo de programación es de “open source” o código abierto dadas estas características físicas y de bajo consumo de energía lo hacen ideal para este proyecto, se realizaron las conexiones en arduino mediante la habilitación de los puertos digitales y se montó en una tarjeta shield facilitando las conexiones sin necesidad de utilizar cables (Figura 19).



**Figura 19. Shield arduino y arduino nano montado con sus respectivas conexiones**

### **6.8.2. Módulo relevador arduino**

Se instaló un módulo arduino el cuál consiste en un relevador montado en una tarjeta electrónica su principal función es controlar grandes cargas con un pequeño pulso se habilita con 5 voltios y se desactiva con 0 voltios gracias a esta función se controla la bomba la cual requiere de 12 voltios para su operación, va conectado al pin digital D8 del arduino nano (Figura 20).

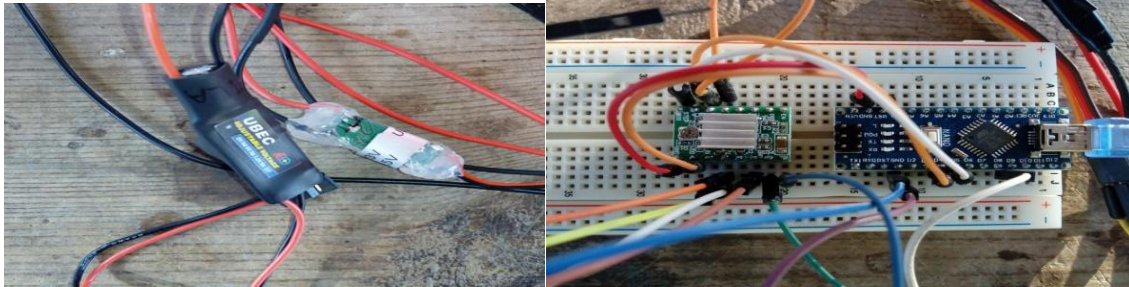


**Figura 20. Módulo relevador de 5 voltios**

### **6.8.3. Regulador UBEC 7.4 voltios y 5 voltios**

El regulador ubec se encarga de suministrar un voltaje siempre constante sin importar si se supera la tension a la que estan regulando, se instaló un ubec de 7.4 voltios a 5 amperes para alimentar al servomotor y un ubec de 5 voltios a 3 amperes para alimentar al arduino, módulo relevadores y al driver para motor a pasos A4988,

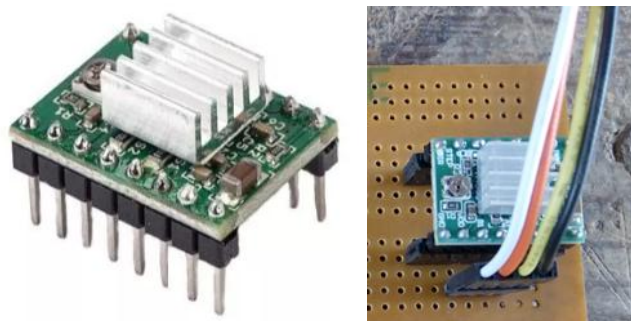
se hicieron pruebas de alimentación y funcionamiento montando los componentes en una protoboard (figura 21).



**Figura 21. UBEC 7.4 voltios 5 amperes y UBEC 5 voltios 3 amperes y circuitos conectados al protoboard**

#### **6.8.4. Driver para motor a pasos A4988**

El driver para motor a pasos A4988 es un circuito controlador bipolar que permite controlar un motor a pasos bipolar hasta de 2 amperes de consumo constantes, se instaló el driver en una tarjeta perforada para facilitar el proceso de soldadura y dejar los componentes correctamente anclados, se instaló un capacitor electrolítico de 100  $\mu$  faradios a 25 voltios para minimizar el efecto de las bobinas al momento de energizar los circuitos electrónicos (Figura 22).



**Figura 22. Conexión del driver A4988 a la tarjeta perforada para su correcto funcionamiento**

### 6.8.5. Circuito controlador del brazo completamente ensamblado

Se hicieron las conexiones desde el arduino al driver A4988 al pin digital D5 y para activar la bomba se conectó al pin digital D8, para activar el servomotor se utilizó el pin digital D9, para controlar el motor a pasos se habilitaron las bobinas mediante el driver y la entrada digital D4, se soldaron los pines utilizando un cautin y soldadura estaño (Figura 23).

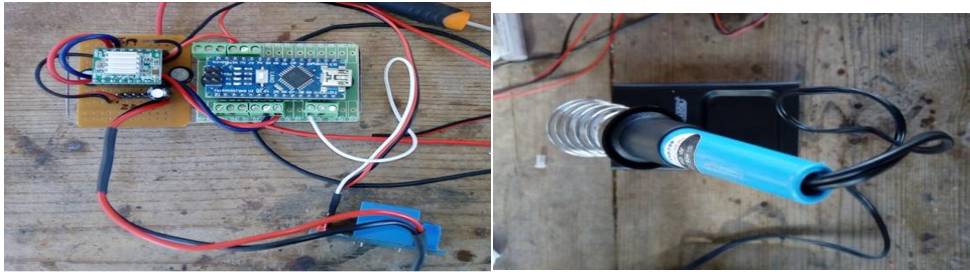


Figura 23. Conexiones del circuito controlador del brazo robot y cautin para soldar

### 6.9. Brazo robot totalmente ensamblado

Se ensamblaron las partes mecánicas y electrónicos permitiendo al brazo realizar las rutinas programadas, cuenta con un sistema de control interno que permite trabajar de manera consecutiva según sea el tiempo que requiera realizar la medición de parámetros, se le instaló un botón de reset y un botón de apagado general (Figura 24).





**Figura 24. Brazo robot ensamblado**

#### **6.10. Código de programación para el control de los movimientos.**

El código encargado de controlar al brazo esta basado en open source codigo abierto arduino y es el encargado de controlar las rutinas del brazo asi como el apagado y encendido de la bomba, el protocolo de programación es C++ y es totalmente editable en caso de ser necesario (Figura 25).

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "Codigo\_1 Arduino 1.8.2". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". Below the menu bar is a toolbar with icons for saving, undo, redo, and file operations. The main text area shows the following code:

```
Codigo_1
#include <Sleep_n0ml.h>
#include <Servo.h>

#define STEP 4
#define DIR 5
#define B 8

Sleep sleep;
Servo myservo;

int SUBIDA = 200; //MODIFICABLE. Numero de pasos del motor a pasos para subir los sensores al iniciar
int BAJADA = 1000; //MODIFICABLE. Pasos para que el motor a pasos baje los sensores al mar
int Li= 150; //MODIFICABLE. Tiempo en el que activara la bomba
int Ls=800;
int gservo = 0; //Grados en los que se movera el sevomotor para posicionarse
int tparametros = 5000; //MODIFICABLE. Tiempo en el que se toman las muestras 5 segundos
int tservo = 50; // MODIFICABLE. Tiempo de giro del servomotor

int count = 0;
int pos = 0;
unsigned long sleepTime = 14400000; //MODIFICABLE. Tiempo de activacion del arduino
//60 x N x 1000 para convertir a minutos
//3600 x N x 1000 para convertir a horas
//14400000 = 4 horas
void sleepi()
{
```

**Figura 25. Código encargado de controlar las rutinas del brazo**

## 6.11. Sistema de limpieza de sensores

Uno de los principales problemas que causan el desgaste prematuro de los sensores es la corrosión causada por el agua salada, entonces es de vital importancia minimizar la acumulación de sales en las membranas , se fabricó un sistema de autolavado de sensores implementando dos boquillas para aspersar agua impulsadas por una mini bomba de bajo consumo y un tanque contenedor de agua destilada por lo que su rutina de encendido es controlado por un relevador de encendido y apagado.

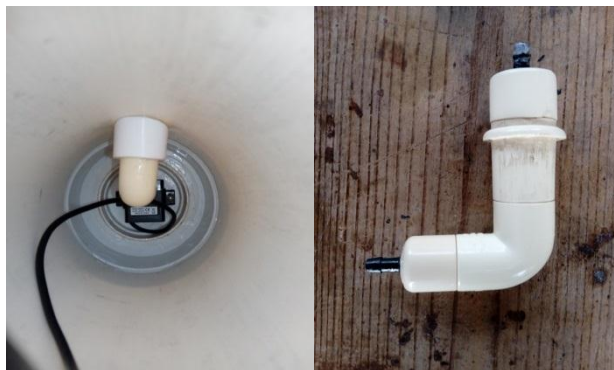
El primer paso para fabricar el tanque contenedor de agua destilada fué cortar un tubo de PVC de 4 pulgadas a 35 cm de largo y en los extremos se le colocaron dos

tapaderas de 4 pulgadas adaptadas mediante coples para tuberías una vez adaptados los coples se unieron mediante pegamento para PVC, al terminar el proceso de pegado de los coples se fijó la bomba en la base del contenedor (Figura 26).



**Figura 26. Instalación de la bomba y pegado de coples de 4 pulgadas**

Se fabricó la tubería interna para que la bomba pueda extraer el agua del tanque, se utilizaron dos codos de 1 pulgada con sus respectivos cortes a 45° para que ensamblen de manera precisa en el contenedor de tal manera que se eviten fugas (Figura 27)



**Figura 27. Instalación de la tubería interna del tanque fabricada en PVC y en los extremos se les inserto dos coples para manguera de 4 mm**

Al finalizar el proceso de fabricación del tanque, se pintó con pintura roja y pintura color aluminio y se le dió un toque de pintura transparente para obtener un acabado brillante y protección contra el sol y la brisa marina (Figura 28).



**Figura 28. Contenedor de agua destilada completamente terminado con su respectivo conector y manguera distribuidora**

### **6.12. Boquillas aspersoras de agua**

Las boquillas de aspersión de agua se encargan de lavar a los sensores, se activan mediante el agua que reciben del tanque contenedor, están fabricadas con un núcleo de porcelana lo que la hace ideal para estar expuesta a la brisa marina y en el extremo por donde entra el agua se le adaptó un cople macho de 4 mm para la entrada de la manguera (Figura 29).



**Figura 29. Boquillas de porcelana con sus respectivos coples de entrada de agua instalados**

### **6.13. Fabricación de la polea encargada de enrollar el cable de los sensores**

La polea es la encargada de enrollar los cables permitiendo que los sensores entren y salgan al agua, la polea está conectada mediante un eje hueco de acero con un diametro de 8 mm a una transmisión al motor a pasos, la polea está fabricada mediante un cople de 4" en la parte media y dos ruedas laterales de un diametro de 27 cm, el conjunto va permitir además, enrollar los cables en su interior tambien van instaladas las 4 tarjetas controladoras de los sensores y la tarjeta v3 lolin WiFi. La polea cuenta con 4 tornillos encargados de sujetar una de las tapaderas para facilitar el acceso a las tarjetas electrónicas (Figura 30).





**Figura 30. Polea encargada de enrollar los cables y sostener las tarjetetas de los sensores**

#### **6.14. Dispositivo para sujetar los sensores**

Para sujetar los sensores se fabricó un dispositivo a la medida de cada sensor, se utilizó un tubo de PVC de 3" para la parte media del sensor del cual se pegaron a los lados 4 tubos para los sensores y en medio el tubo del sensor de pH, dadas las características del sensor de pH, fué necesario colocarse en el medio porque va posado en un contenedor especial con una solución de cloruro de potasio, los otros

3 sensores van posados en agua destilada, se colocaron 2 pesas de plomo para permitir que se hundan los sensores y ademas dar equilibrio al conjunto. En el interior de cada sujetador se colocaron 2 orings de 12 mm para proteger las puntas de los sensores en especial la membrana del oximetro y la capsula del sensor de pH, ademas en cada sensor se colocaron 2 tornillos de acrilico para cambiar la posicion del sensor de ser requerida (Figura 31).

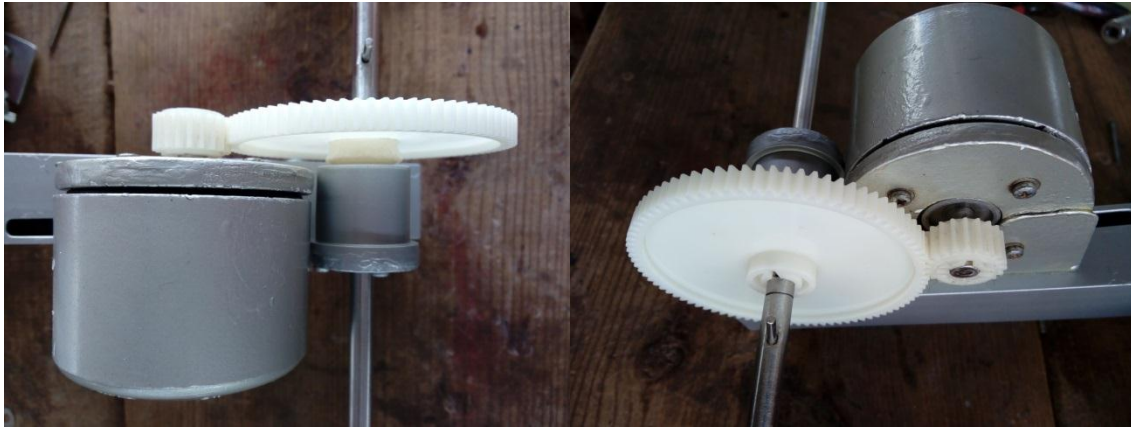


**Figura 31. Dispositivo sujetador de los sensores fabricado en PVC**

### **6.15. Desarrollo de una transmisión para mover la polea y los sensores**

Durante las primeras pruebas de funcionamiento, el sistema de la polea no podía ser accionado por el motor a pasos instalado en el brazo por tal motivo fue necesario fabricar una transmisión que permita al motor moverse de manera eficiente sin calentar las bobinas del mismo; primero se instaló un engrane de 8.5 cm de diametro

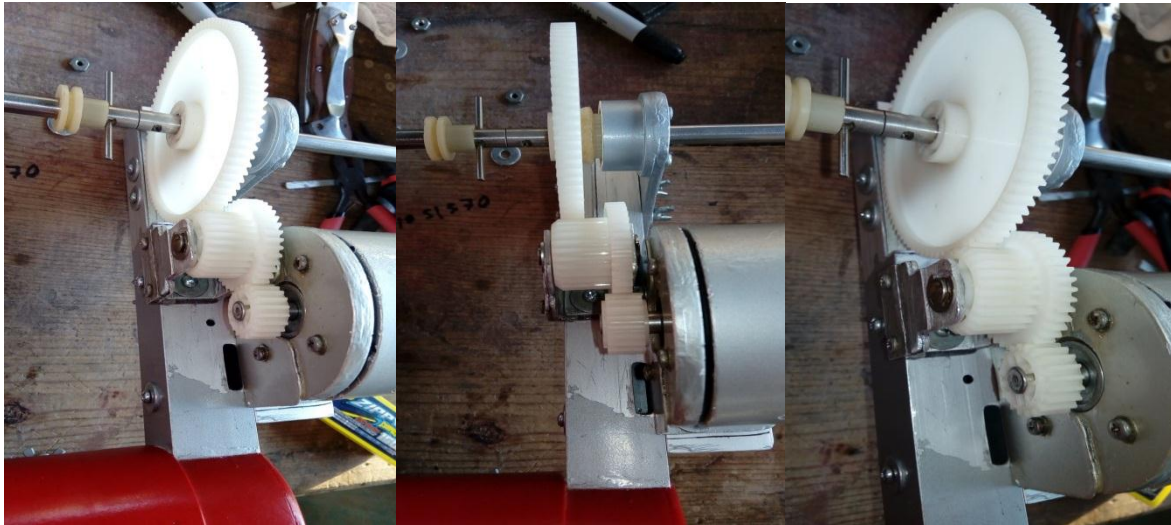
y 50 dientes el cual va adaptado al eje principal de 8 mm de diametro y un engrane piñon de 2cm de diametro y 20 dientes (Figura 32).



**Figura 32. Transmisión con engrane piñon y engrane principal adaptado al eje**

Despues de algunas pruebas de funcionamiento sobre el comportamiento de la transmisión el sistema funciona bien pero el motor tiene un consumo de energia un poco elevado pero el calentamiento disminuyó. Por tal motivo se le instaló un engrane intermedio con doble reduccción en su parte media tiene 30 dientes con un diametro de 2.5 cm y en su parte superior tiene 3.5 cm de diametro y 40 dientes, permitiendo asi obtener mas torque en el eje final y manteniendo un consumo de energia estable y sin calentamientos que dañe al equipo (Figura 33). El sistema de engranes finamente fue colocado y empotrado en la boya para que realice la función para la cual fue diseñado (figura 34)





**Figura 33. Transmisión con triple reducción permite obtener un gran torque en el eje final**



**Figura 34. Sistemas de engranes empotrados en la boya**

### **6.16. Base para posar los sensores al terminar la rutina de sensado**

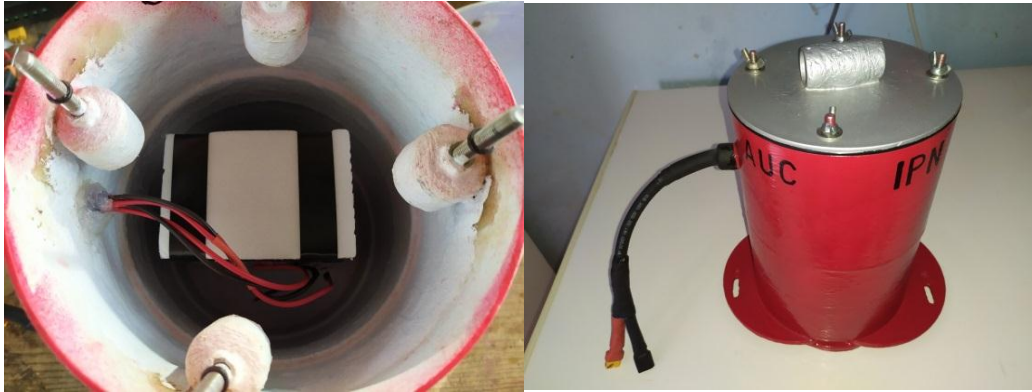
Se desarrolló una base para posar los sensores al momento de terminar la rutina de lectura de parámetros fisicoquímicos, fabricada con dos coples de PVC de 6" haciendo un corte transversal para obtener una muesca lateral que permita la entrada y salida de los sensores, a su vez se colocó en la parte media un cople de 3" para posar el sensor de Ph, también se pegó una esponja encargada de evitar la evaporación del agua destilada de los sensores (Figura 35).



**Figura 35. Base encargada de proteger los sensores cuando están en reposo**

### **6.17. Dispositivo para guardar la batería y el sistema de carga de las celdas solares**

Se fabricó un contenedor para proteger la batería y el sistema de distribución de energía de las celdas solares, se utilizaron dos coples de 6" unidos mediante fibra de vidrio, se colocaron 4 tornillos de acero inoxidable para asegurar la tapadera además se colocó un empaque del tamaño de la tapadera de tal manera que al cerrar la tapa no entre polvo ni humedad, se hizo una adaptación de un cople de salida para sacar las líneas de cableado encargadas de distribuir la energía al sistema (Figura 36).



**Figura 36. Dispositivo para guardar las baterías y proteger al sistema de carga**

### **6.18. Dispositivo contenedor y base para proteger al celular**

Se fabricó un contenedor para proteger al dispositivo encargado de transmitir WiFi, se utilizaron dos coples de 4" y para la tapadera se imprimieron en 3D las roscas y con un empaque permitir que el sistema quede completamente sellado. Al celular se le imprimió en 3D una base para mantenerlo fijo y evitar que se mueva con los movimientos del equipo (Figura 37).



**Figura 37. Contenedor de PVC para proteger al celular y base a medida del mismo impresa en 3D**

## 6.19. Sensores

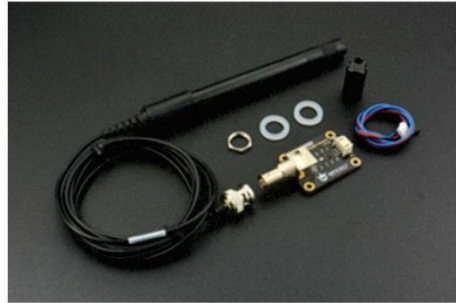
Se realizó la Instalación y conexión de los sensores de temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad utilizando la tarjeta electrónica Node MCU V3 Lolin. Los sensores fueron instalados por los puertos digitales o análogos según sea el caso y se encargarán de censar los parámetros para los cuales serán programados, se habilitarán los puertos requeridos por cada sensor para que sea posible la lectura, se realizará la programación en lenguaje C++ y los cables serán soldados con estaño y se implementarán los siguientes sensores.

- Sensor de oxígeno disuelto (Gravity sensor analógico de oxígeno disuelto)
- Sensor de Temperatura (modelo Ds18b20)
- Sensor de pH (Gravity sensor analógico)
- Sensor de conductividad eléctrica (analógico)

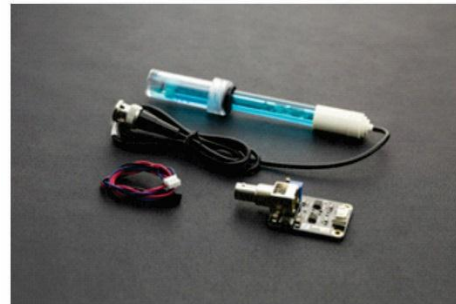
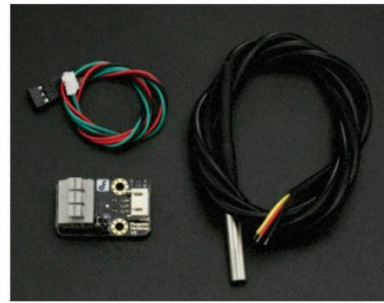
Una vez seleccionados los sensores se aplicó soldadura a la placa electrónica para probar su funcionamiento (Figura 38).



Sensor de temperatura



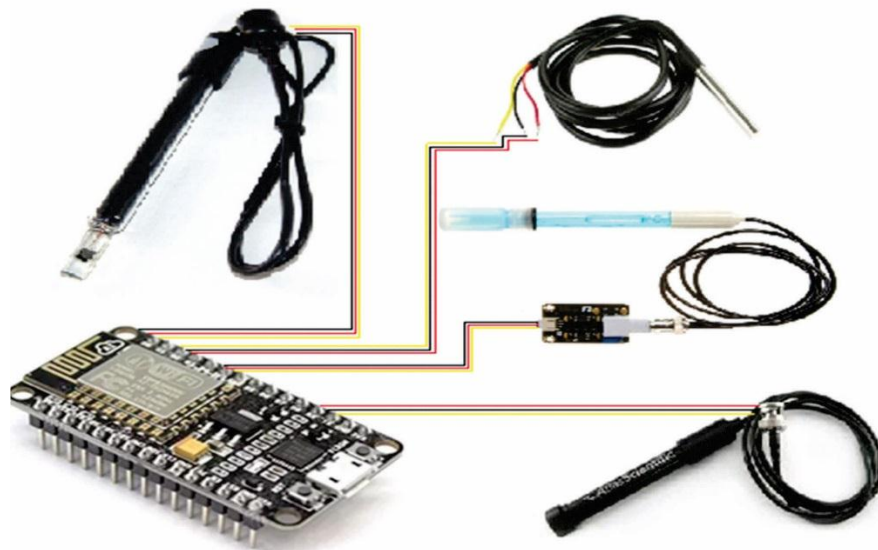
Sensor de pH



Sensor de conductividad eléctrica



Sensor de Oxígeno disuelto



Placa electrónica Node

Figura 38. Diagrama de sensores conectados a la placa electrónica Node

### **6.19.1 Sensor de oxígeno disuelto (Gravity sensor analógico de oxígeno disuelto)**

Una vez instalado el primero paso para la calibración del sensor de oxígeno disuelto se tiene que llenar la membrana con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) posteriormente se carga el código y se comienza la calibración en agua saturada en oxígeno.

### **6.19.2 Sensor de temperatura**

El termómetro digital DS18B20 proporciona mediciones de temperatura Celsius de 9 a 12 bits. El DS18B20 se comunica a través de un bus de 1 cable que, por definición, solo requiere una línea de datos (y tierra) para comunicación con un microprocesador central.

### **6.19.3 Sensor de conductividad eléctrica (salinidad)**

El sensor de salinidad se calibró con una solución salina que el mismo fabricante envía con la sonda con un valor de 12.88 ms/cm. Se validaron las lecturas utilizando un refractómetro del laboratorio.

### **6.19.4. Sensor de pH (Gravity sensor analógico)**

Este sensor tiene una señal de salida de conexión directa a tu Arduino y un rango de mediciones de pH a  $\pm 0.1$  pH (25 °C).

## **6.20. Implementación del sistema de alimentación de energía a través de batería sellada y celdas solares.**

La alimentación del sistema consiste en una batería sellada de ácido plomo que (12v 7 ah) debido a sus características de alto rendimiento la hace adecuada para largos periodos de trabajo pero como la mayoría de los dispositivos electrónicos incluidos, los sensores se alimentan con 5v y se instalaron reguladores UBEC para obtener 5 voltios constantes, además se instaló una celda solar de 100 watts para que el sistema se alimente cuando exista presencia de luz solar y permita aprovechar al máximo la energía del sistema debido a que cuenta con un dispositivo de carga inteligente , a continuación se muestra el diagrama de baterías y conexión de celdas solares.

Para almacenar la energía generada por las celdas solares se instaló una batería de ácido plomo de 12 voltios y una corriente de 7 amperes suficientes para mantener al sistema alimentado aun sin la presencia de luz solar garantizando la demanda energética del equipo (Figura 39).

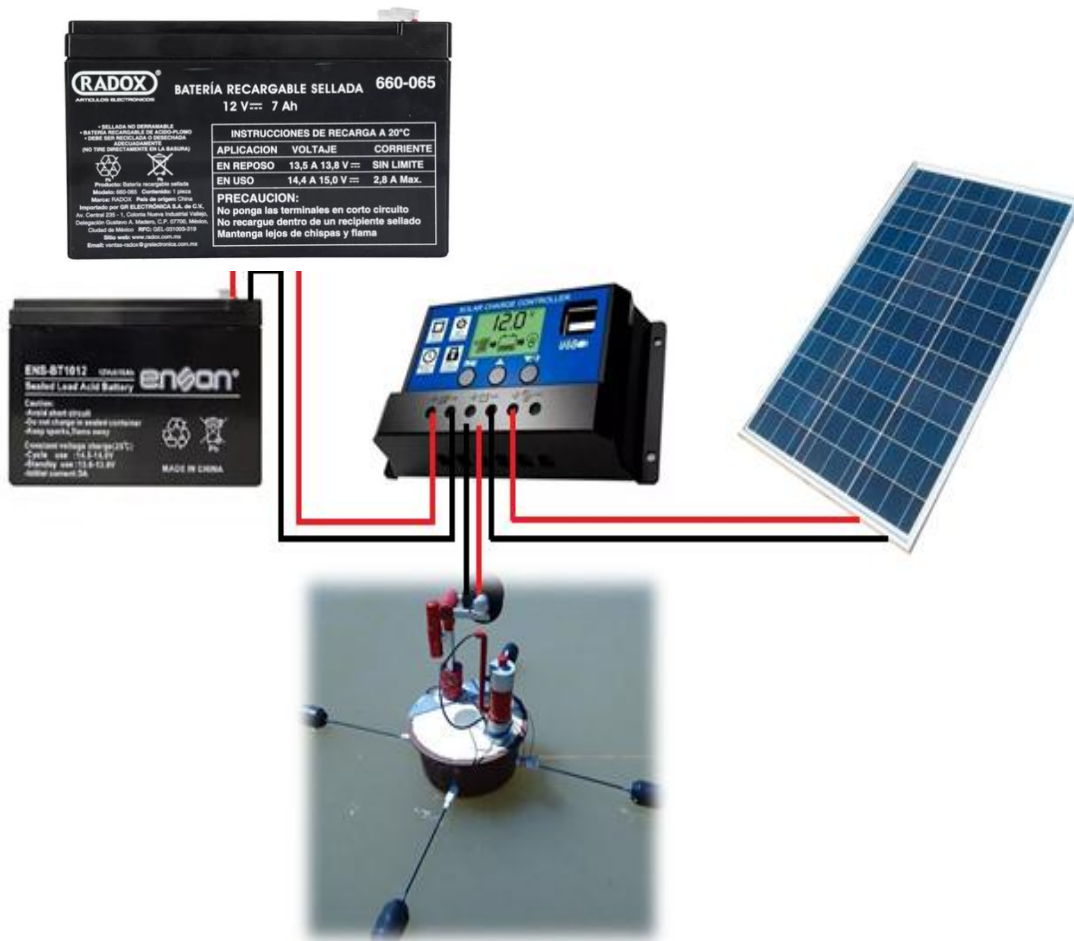


Figura 39. Sistema de alimentación consiste en una batería sellada, un sistema de control de energía y una celda solar



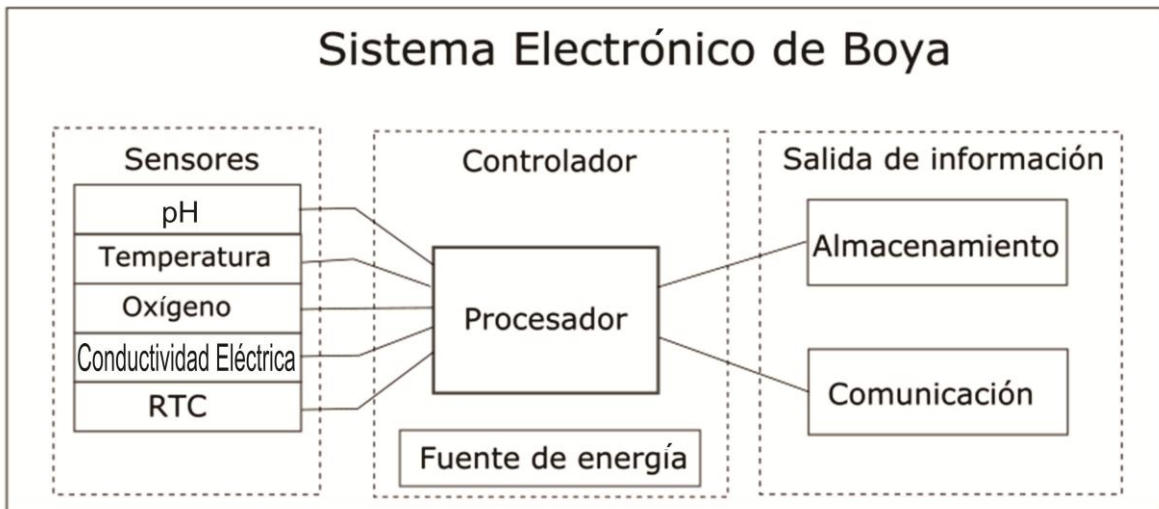
**Objetivo 3. Validar la técnica del prototipo robótico y envío de la información al dispositivo móvil en un sistema acuícola.**

#### **6.21. Red inalámbrica WiFi para envío de información a la red**

Se construyó una red inalámbrica WiFi mediante un celular, con el cual los datos serán enviados de manera inalámbrica usando la tarjeta electrónica Node MCU V3 Lolin para que los datos sean recibidos en una página web y ser visualizados en tiempo real por el usuario final.

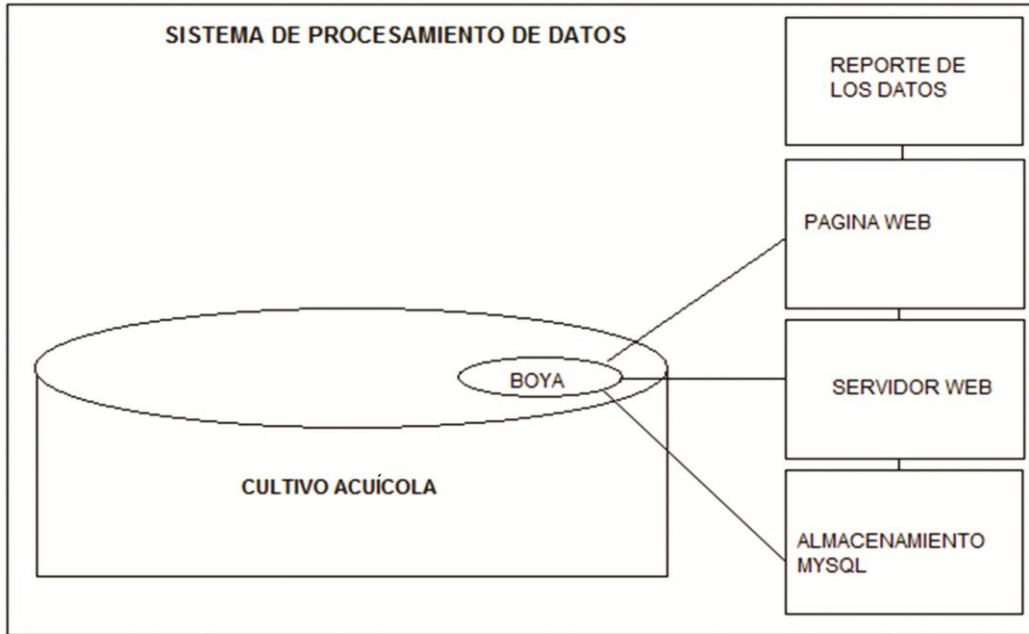
Como se mencionó en el objetivo 2 se hace la lectura de los parámetros a través de los sensores (oxígeno disuelto, PH, temperatura, conductividad eléctrica) una vez obtenida la lectura mediante un **microcontrolador**, se hicieron validaciones de magnitud y tiempo (si los valores obtenidos de manera secuencial se guardan, pero si son parecidos de alguna forma se discriminan debido a que son valores con poca variación y no arrojan información de mucha utilidad). Se realizó un registro de las mediciones realizadas por los sensores.

Para la transmisión de los datos se utilizó una placa electrónica Node MCU V3 Lolin debido a su código de programación abierto además tiene instalado un transmisor WiFi, es necesario tener un modem con WiFi para generar una red de transmisión de datos para ello se instaló un celular con la función de compartir internet (Figura 40).



**Figura 40. Proceso mediante el cual los sensores hacen la medición y se procesa la información para ser enviada al servidor web**

Los datos procesados por el sistema son transmitidos a través de una red inalámbrica de WiFi usando un celular con conectividad para compartir datos, también serán enviados de manera inalámbrica mediante la tarjeta electrónica Node MCU V3 Lolin, los que a su vez son recibidos por el servidor web, éste trabaja de manera simultánea con el mecanismo de almacenamiento MYSQL para mostrar los datos en la página web pero antes será necesario programar, se puede obtener un reporte de datos por el usuario final (Figura 41).



**Figura 41. Diagrama del procesamiento de datos y envío de información a la página web**

Se probó el funcionamiento del prototipo en un cultivo acuícola para monitorear las variables fisicoquímicas y se llevarán a cabo las pruebas requeridas de funcionamiento en el laboratorio de CIIDIR Sinaloa mismos que fueron comparadas con los métodos tradicionales encontrándose una alta correlación entre lo medido con ambas técnicas con los ajustes técnicos necesarios (Figura 42).



**Figura 42. Aplicación práctica en estanques dentro del CIIDIR-Sinaloa para monitorear la efectividad del prototipo**

## **7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la actualidad la posibilidad de diseñar construir e implementar el uso de dispositivos y equipos científicos de bajo costo ha aumentado considerablemente, pudiendo acceder incluso a algunas guías para su diseño en la red de la internet. La alternativa real y factible de acceder a herramientas para el desarrollo de este tipo de elementos estimula la creación de nuevos instrumentos que maximizan la eficiencia y tiempo de obtención de los resultados.

### ***7.1 Diseño del cuerpo de flotación***

Al término de la construcción del cuerpo de flotación se observó que el poliuretano resulto ser un magnifico material para construir el cuerpo flotante ya que es un polímero que se obtiene debido a la gran reactividad existente entre el doble enlace del grupo isocianato y los grupos hidroxilo, generando enlaces uretanos, que constituyen los ligantes de las espumas flexibles (Pérez Aucapiña, 2017) y Pedraza Cuadros, (2018).

Herrador y colaboradores (2017) en sus trabajos sobre la aplicabilidad del polietileno de alta densidad reforzado con fibra de vidrio en estructuras de ingeniería civil establecieron que son aptos para su aplicación a una estructura portuaria bajo ciertas condiciones.

### ***7.2 Diseño y construcción de brazo robótico y sistema de limpieza de sensores***

La robótica nace en décadas recientes para complementarse con la automatización, aportándole como elemento innovador cierto grado de inteligencia. En el contexto industrial, la automatización es una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos y basada en la informática en la operación y control de la producción. Se construyó un brazo robótico mediante un sistema de

poleas el cual es accionado por un motor a pasos, además se le colocó un servomotor en la base del brazo para que el sistema del recipiente de descanso gire y se dirija hacia afuera del sistema, el prototipo toma las lecturas para posteriormente regresar a su posición original después del lavado con agua destilada, las rutinas las hace de manera programada y precisa permitiendo modificar los tiempos y con capacidad de reprogramarse de manera fácil y segura.

Baturone (2005) establece que los robots han captado la atención del mundo al responder a accidentes nucleares, encontrar naufragios, explorar volcanes y viajar al espacio, su importancia esta cada día más presente en la forma en que construimos, aseguramos, suministramos y alimentamos al mundo.

La evolución de la robótica ha permitido la creación de dispositivos que ayudan a automatizar las tareas del ser humano, un ejemplo de esto son los brazos robóticos, los cuales se han convertido en una herramienta debido a que permite realizar tareas complejas, peligrosas y repetitivas de manera más sencilla y eficiente (Molina Cárdenas et al., 2015).

En la medicina se encuentran diversos trabajos de la aplicación de brazos robóticos como el diseñado y construido por Mosso Vázquez et al. (2001), quienes diseñaron un brazo robótico para sujetar y posicionar laparoscopios con cinco grados de libertad y con tres articulaciones.

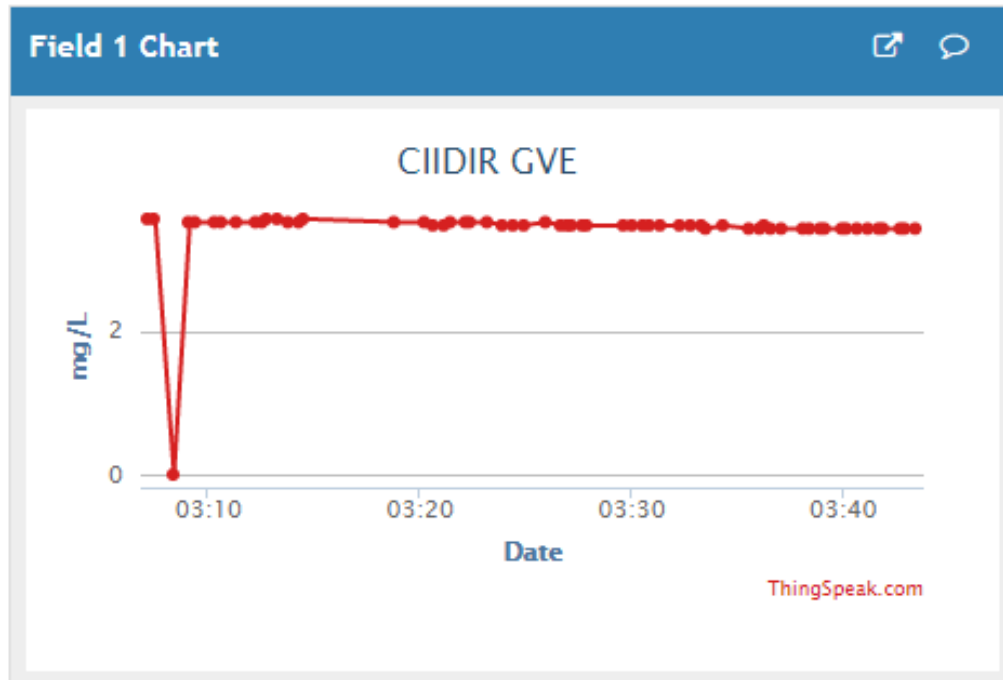
Malpartida (2003) construyó un sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot el cual tuvo como objetivo implementar de un sistema que permita identificar piezas depositadas en una mesa, para luego encontrar su localización exacta y realizar una tarea de pick & place mediante un manipulador de cinco grados de libertad,

En acuicultura se cuenta con el trabajo reportado por Dulanto Ramos (2011) quien diseñó un sistema electrónico capaz de leer los parámetros críticos (temperatura, pH y nivel de agua en el tanque) que influyen en la crianza de peces Tilapia en la Planta piloto de recirculación y contiene una computadora de un robot que se comunica con el mando central instalado en una embarcación a través de un enlace umbilical, utilizando una cámara de video, el brazo del robot es usado para posicionar la herramienta de torque.

### ***7.3 Selección, instalación y conexión de los sensores (pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto) y el sistema electrónico de procesamiento de datos.***

Se instalaron 4 sensores en el dispositivo flotante y fue sometido a diferentes condiciones para monitorear los cambios y comprobar el comportamiento de los mismos los cuales fueron validados con equipos previamente calibrados: Medidor de bolsillo Hanna Combo de Ph/conductividad/TDS HI98130, refractómetro Hanna y un Oxímetro YSI 85 Yellow Spring Instrument para medir oxígeno, salinidad y temperatura. En la figuras 43, 44, 45 y 47 se muestran las variaciones en un periodo de tiempo corto como ejemplo práctico. Para el caso de la salinidad se tomó la relación existente entre la conductividad eléctrica del agua y salinidad obtenida a distintas concentraciones (ver figura 46).

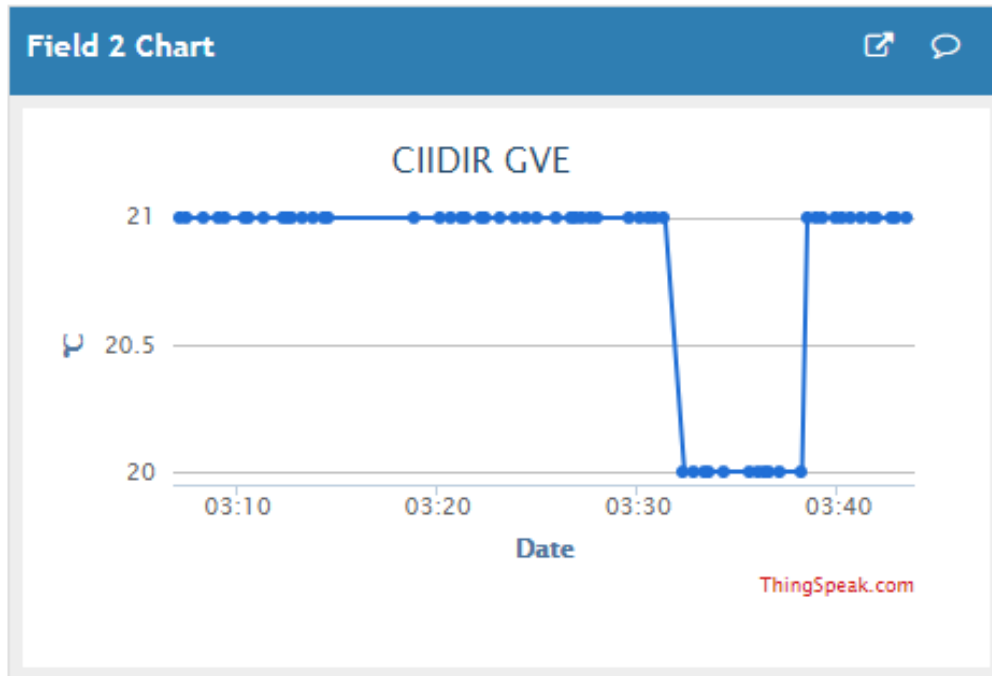
Se observó que el Medidor/Sensor Analógico de Oxígeno Disuelto para Arduino de Gravity es un kit de sensor de oxígeno disuelto, que es compatible con los microcontroladores Arduino. Los valores de análisis de oxígeno disuelto en el agua de cultivo o sistemas de aireación y recambio de agua (figura 43), sugieren trabajar siempre con aguas saturadas de oxígeno, considerándose como valores aceptables de 7 a 10 mg/l (Flores Mollo y Aracena Pizarro, 2018), dentro de las especificaciones establece que la sonda es galvánica con un rango de detección de 0 ~ 20 mg / L y tiempo de respuesta de hasta 98% de respuesta completa, dentro de los 90 segundos (25 °C) en un rango de presión de 0 ~ 50PSI. Robotshop (2019).



**Figura 43. Desempeño y envío de datos del sensor de oxígeno disuelto**

El termómetro digital DS18B20 proporciona mediciones de temperatura Celsius de 9 a 12 bits y tiene una función de alarma con puntos de activación superior e inferior programables por el usuario. El DS18B20 se comunica a través de un bus de 1 cable que, por definición, solo requiere una línea de datos (y tierra) para comunicación con un microprocesador central. Además, el DS18B20 puede derivar energía directamente de la línea de datos ("energía del parásito"), eliminando la necesidad de una fuente de alimentación externa (Maxim Integrated Products, 2019). En la figura 44 se observan las lecturas tomadas en un estanque acuícola.

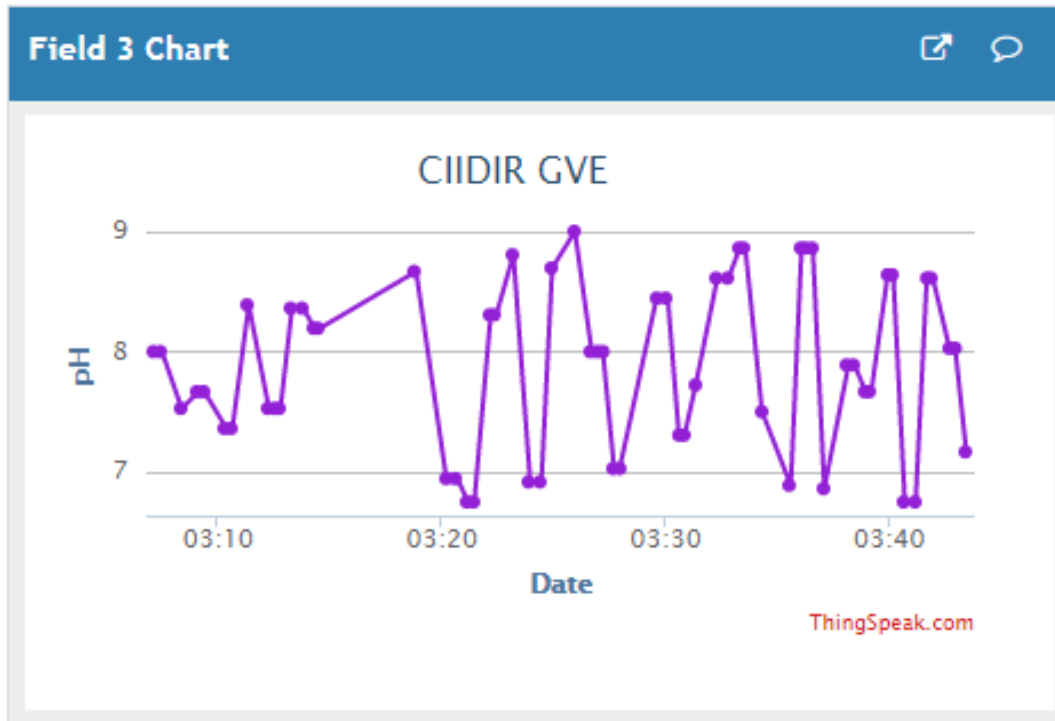
La temperatura ideal para organismos acuáticos tropicales es de 22 a 26 °C y el pH de 7.5 siendo aceptables de 6.5 a 8.5 lo cual es importante debido a que los parámetros de calidad de agua en estanques de peces permiten al productor actuar ante cualquier variación por fuera del rango normal lo que permite que la tasa de mortalidad en organismos se mantenga baja (Pemberthy y Ruiz, 2019).



**Figura 44. Desempeño y envío de datos del sensor de temperatura**

Sensor de pH (Gravity sensor analógico) Este sensor tiene una señal de salida de conexión directa a tu Arduino y un rango de mediciones de pH a  $\pm 0.1$  pH (25 °C). Tdrobotica (2019) establece que este sensor de pH tiene una escala de pH total que varía de 1 a 14, con 7 considerados neutros. El sensor incluye un LED que funciona como el indicador de alimentación, un conector BNC y la interfaz del sensor pH2.0. Para usarlo, simplemente conecta el sensor de pH con el conector BNC y conecta la interfaz en el puerto de entrada analógica de cualquier controlador Arduino. Si está preprogramado, obtendrá el valor de pH fácilmente (ver figura 45). Dentro de las especificaciones se señala que la potencia del módulo es de 5.00V, tamaño de 43 x 32 mm, temperatura de medición de 0 - 60 C, precisión de  $\pm 0.1$ pH (25 °C), tiempo de respuesta  $\leq 1$ min e interfaz pH2.0 (parche de 3 pies)





**Figura 45 Desempeño y envío de datos del sensor de pH**

Para la conductividad eléctrica se utilizó un sensor de gravedad DFR0300-H, el cual está diseñado para medir líquidos de alta conductividad eléctrica como agua de mar y salmuera concentrada. El rango es de hasta 100ms / cm. Puede usarse para pruebas de calidad de agua en pesquerías marinas como pesquerías marinas y acuarios marinos. Este producto admite una entrada de voltaje de 3 ~ 5V de ancho, compatible con el tablero de control principal de 5V y 3.3V; la fuente de excitación utiliza una señal de CA, que reduce efectivamente el efecto de polarización, prolonga la vida útil del electrodo y mejora la precisión de la medición; Calibración de punto único, identificación automática de solución estándar, simple y conveniente (Dfrobot, 2019).

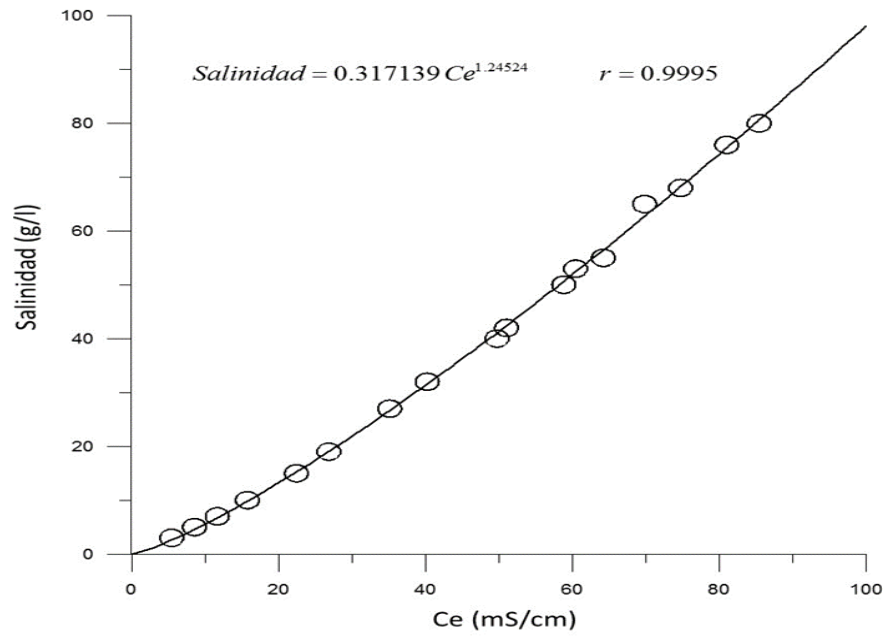
Para determinar la salinidad se diluyó una muestra de agua de mar con agua destilada y se le midió la conductividad eléctrica con el sensor así mismo la salinidad con un refractómetro en las instalaciones de CIIDIR-Sinaloa y se determinó la

relación entre ambos parámetros para 17 muestras de agua. La relación que más se ajustó fue la exponencial:

La relación fue:  $Salinidad = 0.317139CE^{1.24524}$  con una  $r=0.9995$  y los datos se pueden ver en la tabla 1 y en la figura 46 su comportamiento. En la figura 47 se muestra el desempeño y envío de datos del sensor de conductividad eléctrica en la pagina web.

Tabla 1. Lecturas de salinidad y conductividad eléctrica para 17 muestras de agua.

Salinidad g/L	CE mS/cm a 23°C
3	5.4
5	8.5
7	11.6
10	15.7
15	22.4
19	26.8
27	35.1
32	40.2
40	49.7
42	51
50	58.8
53	60.4
55	64.2
65	69.8
68	74.7
76	81
80	85.4



**Figura 46. Relación entre la salinidad y la conductividad eléctrica en muestras de agua**

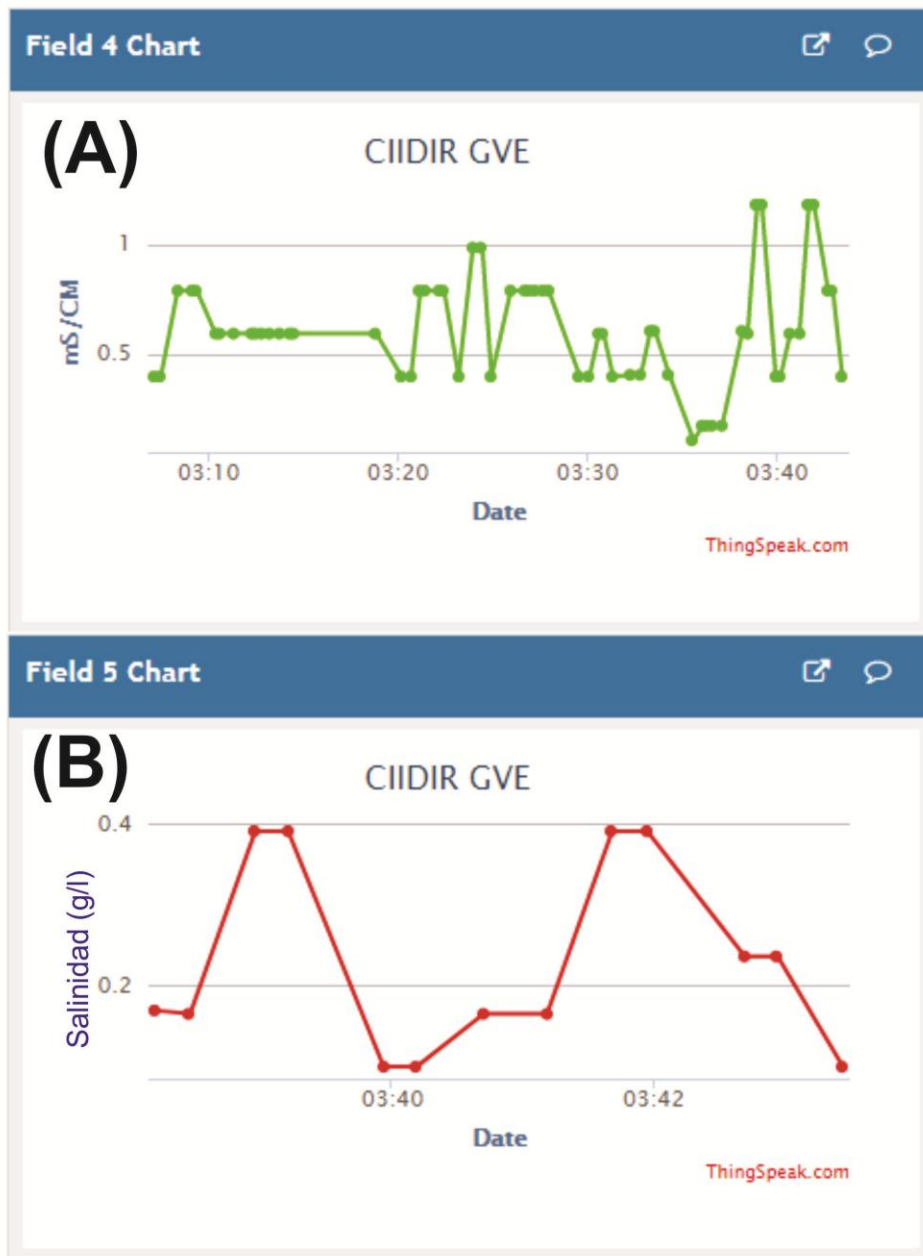


Figura 47. Desempeño y envío de datos: (A) Sensor de conductividad eléctrica y (B) Salinidad calculada

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 CONCLUSIONES

- El prototipo flotante fue diseñado y construido con materiales que se encuentran en la región y fue inspirado en la estructura del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), basamos nuestro modelo debido a que la planta presenta muy buen equilibrio el sistema de flotación observa muy buena estabilidad ante inclemencias del tiempo.
- El prototipo cuenta con un sistema de lavado de los sensores de medición para aumentar la vida útil de los mismos, mediante de un contenedor de protección para que los sensores estén protegidos y dentro de una solución de agua destilada y en el caso del sensor de pH disuelto en su respectiva solución recomendada por el proveedor.
- La boya multiparamétrica muestra funcionalidad para 4 parámetros esenciales para la actividad acuícola (temperatura, pH, salinidad y oxígeno disuelto) la cual a su vez envía los datos a una página web permitiendo monitorear en tiempo real las lecturas por parte del usuario desde cualquier parte del mundo. Las lecturas se pueden programar de acuerdo a las necesidades del usuario.
- El sistema es autosuficiente al ser alimentado con celdas solares y baterías de almacenamiento que le permite operar de manera constante y económica.
- En caso de que las mediciones arrojadas por los sensores estén muy desfasadas o no se muestren en la página el sistema tiene la posibilidad de resetear de manera sencilla mediante un botón instalado en el equipo.

## 8.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda un plan de mantenimiento periódico al sistema para mitigar al máximo los efectos de la corrosión, que aunque el sistema está protegido es recomendable supervisar el correcto estado de la misma.
- Para la parte electrónica se colocaron las piezas de tal manera que un técnico o especialista en electrónica o mecatrónica pueda cambiar las piezas sin problema.
- Es importante monitorear el agua destilada utilizada para el resguardo de los sensores y lavado de los mismos en caso de que este sucia hay que reemplazarla por agua limpia.
- Se recomienda rellenar el tanque de lavado de sensores cada 4 días, es necesario utilizar agua destilada y llenarlo a su máxima capacidad puede almacenar hasta 2.8 litros.
- Se recomienda aplicar aceite lubricante a la transmisión del motor a pasos para disminuir el desgaste de los engranajes.
- Se requiere hacer una recarga de saldo al celular instalado en el equipo ya que es el que hace la función de modem para transmitir las mediciones hechas por los sensores

## BIBLIOGRAFÍA

- Baturone, A. O. (2005). Robótica: manipuladores y robots móviles. Marcombo.
- Cabanilla, V., Ignacio, B., & Cadena Mite, E. M. (2019). Diseño e implementación de un prototipo controlador de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto para la supervivencia del camarón usando controladores p, pi, pid y lógica difusa (Bachelor's thesis).
- Campos, M. N., Sevilla, P. M., Velasco, L. S., Filograsso, L. C., & Cárdenas, O. L. (2016). Acuicultura: estado actual y retos de la investigación en México. *Revista AquaTIC*, (37).
- Carbajal-Hernández, J. J., Sánchez-Fernández, L. P., Hernández-Bautista, I., & Hernández-López, J. (septiembre-octubre, 2017). Modelo basado en redes neuronales artificiales para la evaluación de la calidad del agua en sistemas de cultivo extensivo de camarón. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(5), 71-89
- Conforme Rosado R. L. y Meza Cercado C. I. (2018). Análisis y diseño de la aplicación de las redes inalámbricas en un sistema de monitoreo del habitat del camarón para las camaroneras (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería En Networking y Telecomunicaciones).
- Díaz-López, H., Vargas-Gómez, Y. (2018). Diseño de un módulo electrónico para la crianza automatizada de peces mediante modelamiento matemático multiparamétrico que simule las condiciones básicas necesarias para la crianza, en estanques artificiales en función de parámetros fisicoquímicos. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 253-268.
- Dfrobot (2019). [http://wiki.dfrobot.com.cn/index.php?title=\(SKU:DFR0300-H\)%E6%A8%A1%E6%8B%9F%E7%94%B5%E5%AF%BC%E7%8E%87%E8%AE%A1\(K%3D10\)](http://wiki.dfrobot.com.cn/index.php?title=(SKU:DFR0300-H)%E6%A8%A1%E6%8B%9F%E7%94%B5%E5%AF%BC%E7%8E%87%E8%AE%A1(K%3D10))



- Dulanto Ramos, L. S. (2011). Diseño de un sistema de monitoreo remoto de parámetros ambientales críticos de la planta piloto de acuicultura de la PUCP.
- Dussán, S. A., Vanegas, O. O., Chavarro, A. F., & Molina, J. J. (2016). Diseño e implementación de un prototipo electrónico para monitoreo de parámetros físico-químicos en cultivo de tilapia a través de una aplicación móvil. *Informador técnico*, 80(1), 49-60.
- Flores Mollo, S., & Aracena Pizarro, D. (2018). Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26, 55-64.
- Herrador, M., Meijide, J. A. G., Calo, F. S., Vieito, I., & López, G. R. (2017). Aplicabilidad del polietileno de alta densidad reforzado con fibra de vidrio en estructuras de ingeniería civil. In VII Congreso Internacional de Estructuras:[resúmenes publicados en la revista Hormigón y Acero (ISSN 0439-5689), v. 68, especial Congreso, junio 2017] (pp. 328-329). Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural.
- López Arellano, M. A. (2018). Prototipo de un sistema de monitoreo para el crecimiento óptimo del camarón mostrando su comportamiento a través de gráficas de sonido utilizando un software basado en tecnología inalámbrica (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería En Networking y Telecomunicaciones).
- Malpartida, E. A. S. (2003). Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot. Pontificia universidad católica del Perú, Perú.
- Maxim Integrated Products (2019). <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

- Molina Cárdenas, M., Barrios, P. P., Moreno, K. M. G., Arismendy, J. F. S., & Ávila, M. C. O. (2015). Diseño y Construcción del Prototipo de un Brazo Robótico con Tres Grados de Libertad, como Objeto de Estudio. *Ingeniare*, (18), 87-94.
- Mosso-Vázquez, J. L., Minor-Martínez, A., Lara-Vaca, V., & Maya, E. (2001). Brazo robótico para sujetar y posicionar laparoscopios. Primer diseño y construcción en México. *Cirugía y Cirujanos*, 69(6), 295-299.
- Negrón López, J. C. (2018). Evaluación de la influencia de los ambientes marinos en las propiedades mecánicas de los aceros de construcción ASTM A615 y aluminio al 99% de pureza.
- Noor, M. A. M., N. z. A. Rashid, et al. (2016). "Characterization of Optical Fiber Dissolved Oxygen Sensor for Aquaculture Sensing and Monitoring." *Procedia Chemistry* 20: 8-11.
- Olivo Gutiérrez M., Verduzco Ramírez, J., García Días N., Villalobos Gómez J., Olivo Gutiérrez A. (2018). Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. vol. 22, núm. 2. Instituto Tecnológico de Colima. Instituto Politécnico Nacional.
- Ortega, C., Muzquiz, J. L., De Blas, I., Alonso, J. L., Fernández, A. B., & Ruiz, I. (2016). Estudio epidemiológico de factores de riesgo en acuicultura. *Revista AquaTIC*, (4).
- Platas-Rosado, D. E., Hernández-Arzaba, J. C., & González-Reynoso, L. (2017). IMPORTANCIA ECONÓMICO Y SOCIAL DEL SECTOR ACUÍCOLA EN MÉXICO. *Agroproductividad*, 10(2).
- Pedraza Cuadros, D. P. (2018). *Coolfish: La pesca artesanal y los procesos de calidad en San Andrés Islas*.
- Pelayo Ruiz, L. (2018). *Corrosión marina en estructuras offshore*. Tesis Licenciatura. Universidad de Cantabria

- Pemberthy, L. A. P., & Ruiz, N. E. P. (2019). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de parámetros de calidad de agua en cultivo de tilapia en una granja piscícola del departamento del Cauca. Publicaciones e Investigación, 1.
- Pérez Aucapiña, L. A. (2017). Estudio de factibilidad para la elaboración de espumas flexibles de poliuretano convencionales y bioespumas (Bachelor's thesis).
- Pule, M., A. Yahya, et al. (2017). "Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality." Journal of Applied Research and Technology **15**(6): 562-570.
- Robotshop (2019). <https://www.robotshop.com/es/es/kit-medidor-sensor-analogico-oxigeno-disuelto-para-arduino-gravity.html>
- Rocher, J., Parra, L., Taha, M., & Lloret, J. (2018). Diseño de una red de sensores para monitorizar una instalación acuícola. XIII Jornadas de Ingeniería telemática (JITEL 2017). Libro de actas, 48-54.
- Ryuh, Y.-S., G.-H. Yang, et al. (2015). "A School of Robotic Fish for Mariculture Monitoring in the Sea Coast." Journal of Bionic Engineering **12**(1): 37-46.
- Schmidt, W., D. Raymond, et al. (2018). "Design and operation of a low-cost and compact autonomous buoy system for use in coastal aquaculture and water quality monitoring." Aquacultural Engineering **80**: 28-36.
- Simbeye, D. S., J. Zhao, et al. (2014). "Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments." Computers and Electronics in Agriculture **102**: 31-42.
- Tdrobotica (2019). <http://tdrobotica.co/gravity-sensor-analogo-ph/915.html>
- Valenzuela Quiñónez, W., López Limón, J. A. y Aragón-Noriega E. A. (2017). Impacto del cultivo de camarón por succión de larvas de peces y camarón mediante el bombeo de granjas acuícolas en Navachiste, Sinaloa. Hidrobiológica, **14**(2), 105-112.

Wang, Y., C. Qi, et al. (2012). "Design of Remote Monitoring System for Aquaculture Cages Based on 3G Networks and ARM-Android Embedded System." *Procedia Engineering* 29: 79-83.

Wu, Z., J. Liu, et al. (2017). "Development of a Novel Robotic Dolphin and Its Application to Water Quality Monitoring." *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* **22**(5): 2130-2140.

Zhou, C., Z. Cao, et al. (2008). "A Marsupial Robotic Fish System." *IFAC Proceedings Volumes* 41(2): 762-766.

Zhou, C., Z.-G. Hou, et al. (2013). "Motion modeling and neural networks based yaw control of a biomimetic robotic fish." *Information Sciences* 237: 39-48.

Zhuyikov, S. (2012). "Solid-state sensors monitoring parameters of water quality for the next generation of wireless sensor networks." *Sensors and Actuators B: Chemical* 161(1): 1-20.

Páginas Web utilizadas para conformar el Glosario

<http://meatronicdx.blogspot.com/2012/09/glosario-de-meatronica.html>